



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

**PROBLEMATIKA MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ
IMPEDANCE VYPÍNACÍ SMYČKY**

PROBLEMS OF MEASUREMENT AND EVALUATION OF SWITCHING LOOP IMPEDANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Švéda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. František Veselka, CSc.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Miroslav Švéda

ID: 192139

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Problematika měření a vyhodnocování impedance vypínací smyčky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s významem, problematikou provádění revizí u elektrických zařízení a základní normou pro provádění revizí.
2. Definujte pojem impedance vypínací smyčky a její význam při zajišťování bezpečnosti u elektrických zařízení.
3. Určete vliv přesnosti měření velikosti impedance vypínací smyčky na činnost jističích prvků.
4. Změřte velikost impedance vypínací smyčky s využitím různých měřicích přístrojů.
5. Vyhodnoťte naměřené výsledky a získané poznatky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ČSN 33 1500, Elektrotechnické předpisy – Revize elektrických zařízení
- [2] Veselka, F., Huzlík, R.: Inspekční a revizní činnost, přednášky, cvičení.
- [3] Honys, V.: Bezpečná Elektrotechnika. IN – EL Praha, 1998

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: doc. Ing. František Veselka, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce je věnována problematice impedance vypínací smyčky. Je zde řešena problematika měření impedance vypínací smyčky, různé postupy měření a přesnost těchto měření. Dále se práce zabývá následným vyhodnocováním měření impedance vypínací smyčky a zápisem výsledků měření. Práce se také zaměřuje na impedanci vypínací smyčky z hlediska činnosti jistících prvků elektrizační soustavy. Nakonec je jako součást práce provedeno praktické měření impedance vypínací smyčky v reálných elektrických obvodech.

Klíčová slova

Impedance vypínací smyčky, revize, elektrické zařízení, technická norma, jistící prvek, měřicí zařízení, bezpečnost činnosti, přesnost měření

Abstract

This work is applied to questions about impedance of tripping loop. It deals with problems of measuring impedance of tripping loop, different measurement, procedures and accuracy of these measurements. Further, the work deals with the subsequent evaluation of the measuring impedance of tripping loop and writing of the measurement results. The work also focuses on the impedance of tripping loop in terms of the operation of the protective elements of the electrification system. Finally, the practical measurement of the impedance of tripping loop in real electrical circuits is performed as part of the work.

Keywords

Impedance of tripping loop, revision, electrical equipment, technical norm, security element, measuring equipment, safety of work, measurement accuracy

Bibliografická citace:

ŠVÉDA, Miroslav. *Problematika měření a vyhodnocování impedance vypínací smyčky*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120053>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce František Veselka.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Problematika měření a vyhodnocování impedance vypínací smyčky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **15. května 2019**

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Františkovi Veselkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **15. května 2019**

.....

podpis autora

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Problematika revizní činnosti.....	12
2.1 Dvě základní normy pro provádění revizí - norma ČSN 33 1500 a norma ČSN 33 2000 – 6 ed.2.	12
2.2 Rozdělení elektrických zařízení	12
2.3 Základní pojmy	13
2.4 Revize elektrických zařízení	14
3 Impedance poruchové smyčky	16
3.1 Ovlivnění impedance vnějšími vlivy	18
3.2 Měření impedance poruchové smyčky.....	20
3.2.1 Princip měření.....	20
3.2.2 Zajištění bezpečnosti a zvýšení přesnosti měření	22
3.2.3 Čtyřvodičová metoda měření odporu	23
3.2.4 Problematika měření impedance poruchové smyčky	25
3.2.5 Technické parametry měřicího přístroje	26
4 Impedance vypínací smyčky z hlediska jisticích prvků obvodu.....	31
4.1 Příklad ověření funkčnosti jistění pro velký vypínací proud	31
4.2 Příklad ověření funkčnosti jistění pro malý vypínací proud	35
4.3 Impedance vypínací smyčky z hlediska obvodů jištěných proudovým chráničem	37
4.4 Měření impedance vypínací smyčky v obvodech jištěných proudovým chráničem	39
4.4.1 Měření impedance vypínací smyčky polovinou vybavovacího proudu ...	39
4.4.2 Konstrukční vlastnosti proudového chrániče využívané pro měření impedance	40
4.4.3 Blokování chrániče stejnosměrným proudem.....	41
4.4.4 Měření impedance vypínací smyčky krátkým měřicím pulzem.....	43
4.4.5 Určení impedance poruchové smyčky výpočtem z odporů R_{LINE} a R_{N-PE} .	44
5 Praktické měření impedance vypínací smyčky	46
5.1 Měření impedance ve vybraném objektu	46
5.1.1 Popis objektu.....	46

5.1.1.1 Elektrická instalace obecně.....	47
5.1.1.2 Podkroví.....	47
5.1.1.3 Přízemí	48
5.1.1.4 Sklep.....	50
5.1.2 Praktické měření	52
5.1.2.1 Měřicí přístroje.....	52
5.1.2.2 Modelování a popis měřených obvodů	55
5.1.3 Výsledky měření	56
5.2 Měření impedance v laboratoři firmy Illko, s.r.o.	59
5.2.1 Měřicí přístroje a naměřené hodnoty impedance.....	60
5.3 Vyhodnocení měření	68
6 Závěr	70

Seznam obrázků

Obr. 3-1 Obvod poruchové smyčky [7]	17
Obr. 3-2 Princip měření impedance poruchové smyčky [6]	20
Obr. 3-3 Úbytek napětí na měřené impedanci [6]	21
Obr. 3-4 Dvou vodičové připojení měřicího přístroje [7].....	24
Obr. 3-5 Čtyřvodičové připojení měřicího přístroje [7]	24
Obr. 3-6 Požadavky na měřicí přístroj v závislosti na jištění sítě [6]	26
Obr. 3-7 Grafické znázornění chyby měření [9]	29
Obr. 4-1 Vypínací charakteristika pojistek PNA 1 gG, ze které se stanoví vybavovací proud jištění [8]	32
Obr. 4-2 Vypínací charakteristika jističů, ze které se stanoví vybavovací proud jištění [10]	36
Obr. 4-3 Princip měření impedance při použití blokování chrániče [11]	42
Obr. 4-4 Měření pro výpočet odporu fázového vodiče [11]	44
Obr. 4-5 Změření odporu smyčky složené z R_N a R_{PE} [11]	45
Obr. 5-1 Měřený objekt rekreační chaty	46
Obr. 5-2 Podkroví	47
Obr. 5-3 Předsíň	48
Obr. 5-4 Kuchyň	49
Obr. 5-5 Obývací pokoj – 1. pohled	49
Obr. 5-6 Obývací pokoj – 2. pohled	50
Obr. 5-7 Podružný rozvaděč	51
Obr. 5-8 Umístění elektroměru a hlavního jističe.....	51
Obr. 5-9 Přístroj EASYTEST MA 2064.....	52
Obr. 5-10 Přístroj ZEROTESTpro.....	54
Obr. 5-11 Přední ovládací panel kalibrátoru DICK 2008-230.....	60
Obr. 5-12 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje ZEROTESTpro	61
Obr. 5-13 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje EurotestXC MI 3152. 63	
Obr. 5-14 Detail displeje přístroje EurotestXC MI 3152.....	64
Obr. 5-15 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje ZERO LINE 60.....	66
Obr. 5-16 Detail displeje přístroje ZERO LINE 60	68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení elektrických zařízení podle napětí [4]	13
Tabulka 2: Technické parametry dostupných měřicích přístrojů [10].....	33
Tabulka 3: Přehled maximálních dob odpojení od zdroje podle normy ČSN 33 2000-4-41 ed.2 [10].....	35
Tabulka 4: Naměřené hodnoty v měřeném objektu přístrojem ZEROTESTpro a vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky se zohledněním chyby přístroje ..	56
Tabulka 5: Naměřené hodnoty v měřeném objektu přístrojem EASYTEST MA 2064 a vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky se zohledněním chyby přístroje	58
Tabulka 6: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky pomocí přístroje ZEROTESTpro a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření.....	61
Tabulka 7: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem EurotestXC MI 3152 a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření	63
Tabulka 8: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu rychlého měření a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření	67
Tabulka 9: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu měření kladnými půlvlnami měřicím proudem 10 A a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření	67
Tabulka 10: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu měření kladnými půlvlnami měřicím proudem 30 A a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření.....	67

1 ÚVOD

Jako bakalářskou práci jsem si zvolil práci s názvem „Problematika měření a vyhodnocování impedance vypínací smyčky“. Cílem této bakalářské práce je seznámit se obecně s prováděním revizí na elektrických zařízeních a nastudování potřebných norem k provádění revizí. Následně se má práce zaměřit blíže na téma impedance vypínací smyčky, její měření a následné vyhodnocování provedeného měření.

V první části práce se zaměřím na revize elektrických zařízení z obecného hlediska, nastuduji potřebné normy k provádění revizí elektrických zařízení, provedu rozdělení elektrických zařízení a vysvětlím, co se vlastně elektrickým zařízením myslí. Dále uvedu některé základní pojmy související s problematikou revizní činnosti.

Ve druhé části práce se budu věnovat už konkrétně tématu impedance vypínací smyčky, objasním samotný pojem impedance vypínací smyčky, provedu rozbor vlivů působících na její velikost. Následně se budu věnovat problematice měření impedance vypínací smyčky, uvedu princip měření a různé metody, které se pro měření používají. Také se budu zabývat přesností měření a bezpečností měření. Nakonec tuto část práce doplním o některé parametry měřících přístrojů.

Ve třetí části práce budu věnovat pozornost impedanci vypínací smyčky z hlediska jistících prvků obvodu. Proberu impedanci vypínací smyčky podle různých jistících prvků, přes pojistky a jističe až k proudovým chráničům.

Ve čtvrté a zároveň poslední části práce provedu praktické měření impedance vypínací smyčky. Měřit budu různými měřicími přístroji, aby se dalo provést porovnání přístrojů z hlediska přesnosti měření. Na závěr naměřené, případně vypočtené hodnoty okomentuji a vyhodnotím.

2 PROBLEMATIKA REVIZNÍ ČINNOSTI

Při instalaci a provozu jakéhokoli elektrického zařízení se musí dodržovat pokyny, které jsou udané výrobcem. Elektrické zařízení musí vyhovovat prostředí, ve kterém je používáno, stejně tak musí odolávat podmínkám tohoto prostředí. Z tohoto důvodu je potřeba dané elektrické zařízení kontrolovat. Tato kontrola se nazývá revizí. Základní problematikou revizí se zabývá norma ČSN 33 1500. [1]

2.1 Dvě základní normy pro provádění revizí - norma ČSN 33 1500 a norma ČSN 33 2000 – 6 ed.2.

Norma ČSN 33 1500 je základní norma, podle které se provádí revize všech elektrických zařízení, které mohou ohrozit lidské zdraví, užitková zvířata, majetek a okolní prostředí elektrickým proudem nebo napětím. V normě jsou specifikovány druhy revizí, postupy při nichž užívané, věci související s obsahem revizní zprávy. Nachází se v ní také odkazy na další normy. [2]

Norma ČSN 33 2000 – 6 ed.2. udává základní rozdělení revizí, což jsou revize výchozí a pravidelné, které jsou vysvětleny dále. [3]

2.2 Rozdělení elektrických zařízení

Elektrické zařízení je zařízení, využívající ke své činnosti nebo působení účinků elektrických, případně elektromagnetických jevů. Elektrických zařízení existuje spousta druhů, dají se dělit podle různých kritérií. Elektrická zařízení mohou být například stabilní či mobilní, určené k výrobě, rozvodu nebo spotřebě elektrické energie, atd. [4]

Rozdělení elektrických zařízení:

- a) podle účelu – jsou to silová, sdělovací, řídicí a zvláštní zařízení,
- b) podle napětí – viz Tabulka 1,

- c) podle druhu procházejícího proudu – to jsou zařízení stejnosměrná a střídavá,
- d) podle nebezpečí úrazu – jsou zařízení buď silnoproudá nebo slaboproudá.

[4]

Kategorie napětí	Označení napětí	Název napětí	Jmenovitá napětí U		
			v uzemněné soustavě		v izolované soustavě
			mezi vodiči a zemí	mezi vodiči	mezi vodiči
I	mn	malé	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 50 \text{ V}$
II	nn	nízké	$50 \text{ V} < U < 600 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U < 1000 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U < 1000 \text{ V}$
A	vn	vysoké	$0,6 \text{ kV} < U < 30 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U < 52 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U < 52 \text{ kV}$
B	vvn	velmi vysoké	$30 \text{ kV} < U < 171 \text{ kV}$	$52 \text{ kV} < U < 300 \text{ kV}$	$52 \text{ kV} < U < 300 \text{ kV}$
C	zvn	zvláště vysoké	-	$300 \text{ kV} < U < 800 \text{ kV}$	-
D	uvn	ultra vysoké	-	nad 800 kV	-

Tabulka 1: Rozdělení elektrických zařízení podle napětí [4]

2.3 Základní pojmy

Preventivní údržba – souhrn činností, zaměřující se na udržení provozuschopnosti a bezpečného stavu elektrického zařízení. [4]

Bezpečnost elektrického zařízení – je schopnost elektrického zařízení neohrožovat lidské zdraví, užitková zvířata nebo majetek a okolní prostředí. [4]

Kontrola elektrického zařízení – činnost prováděná na elektrickém zařízení, při které se zjišťuje technický stav zařízení (např. zkouškou, měřením, prohlídkou atd.). [4]

Výchozí revize – revize prováděná na novém nebo rekonstruovaném elektrickém zařízení před jeho uvedením do provozu. [4]

Pravidelná revize – revize provozovaných elektrických zařízení, prováděná pravidelně ve stanovených lhůtách. [4]

Zpráva o revizi – písemný doklad o výsledku revize, z něhož je patrný stav elektrického zařízení z hlediska bezpečnosti v době vykonání revize. [4]

Revize – účelem revize elektrického zařízení je ověření stavu zařízení z hlediska bezpečnosti. Zařízení je považováno za bezpečné, pokud odpovídá z hlediska bezpečnosti příslušným normám. Součástí revize je vypracování zprávy o revizi. Každá revize zahrnuje prohlídku – zkoušení – měření. [4]

Prohlídka – je to vědomé prohlédnutí elektrického zařízení za účelem zjištění jeho řádného stavu. Je to první úkon prováděný při revizi a probíhá, když je zařízení bez napětí. Kontroluje se, zda není zařízení viditelně poškozeno v takové míře, že by mohla být narušena bezpečnost. To zahrnuje kontrolu protipožárních přepáček, krytů, držadel, ovládacích prvků, izolace všech přívodů, vidlic všech přívodů, označení vodičů, pojistek, svorek, způsob spojení vodičů, seřízení ochranných a kontrolních prvků, atd. Ověřuje se také evidenční označení spotřebiče. [4]

Zkoušení – je činnost, při které se prokazuje účinnost ochranných a signálních zařízení, např. proudových chráničů, zařízení pro hlídání izolačního stavu, světelných hlásičů, zařízení pro nouzové vypnutí. Tato část revize probíhá při normálních provozních podmínkách zařízení, tj. když je zařízení v chodu. [4]

Měření – je to zjišťování hodnot, které jsou nutné pro posouzení účinnosti ochranného zařízení pomocí vhodných měřicích přístrojů. Provádí se tehdy, pokud se tyto hodnoty nedají zjistit prohlídkou nebo zkoušením. [4]

2.4 Revize elektrických zařízení

Jak již bylo napsáno výše, při revizi se ověřuje stav elektrického zařízení z hlediska bezpečnosti. To je důležité zejména kvůli nepříznivým účinkům elektrického proudu. Dva nejdůležitější z nich jsou úraz elektrickým proudem a požár, případně následný výbuch. Aby nedošlo ani k jednomu z nich, zavádí se různá opatření, jednak v okolí elektrických zařízení, ale také přímo v jejich vnitřní instalaci, tj. v obvodech. [4]

Co se týče vnějších opatření, je to např. protipožární přepážka, různé kryty, atd. Tyto opatření fungují jak při normálním provozu, tak při poruše. [5]

Z hlediska vnitřních elektrických instalací se provádí opatření pro případy, kdy dojde k poruše, většinou základní ochrany zajišťované izolací živých částí. Vlivem narušení izolace se může vyskytnout nebezpečné napětí na neživých částech zařízení, čímž pádem dojde ke změně v síti, nejčastěji k průtoku poruchového proudu jinou cestou než pracovními vodiči. Z tohoto důvodu se skoro 80 let v elektrických instalacích aplikuje jedna z nejdůležitějších ochranných opatření, a to ochrana automatickým (samočinným) odpojením od zdroje. V principu to znamená, že změna v síti a průtok poruchového proudu uvede do činnosti jistící prvek, který odpojí elektrický obvod od zdroje. [5] [6]

Velikost poruchového proudu závisí na vlastnostech obvodu, kterým proud proteče. Přičemž se dá uvažovat, že síťové napětí, které poruchový proud vyvolává, je v rámci určité tolerance konstantní. Z toho je zřejmé, že na velikost poruchového proudu má především vliv velikost odporu, který klade poruchovému proudu protékající obvod. Odpor poruchového obvodu neboli poruchové smyčky lze uvažovat jako nejdůležitější vlastnost ovlivňující správnou funkci ochrany automatickým odpojením od zdroje. [6]

Správná funkce ochrany automatickým odpojením kromě toho závisí také na charakteristikách přístroje, který zajišťuje odpojení od zdroje. Pro upřesnění to znamená, že poruchový proud musí být větší, než je vybavovací proud ochranného přístroje. Také se může stát to, že porucha bude příliš vzdálená od zdroje. Tím pádem ochrana samočinným odpojením od zdroje nemusí správně fungovat. [5]

3 IMPEDANCE PORUCHOVÉ SMYČKY

Impedanci poruchové smyčky se rozumí součet impedancí a odporů jednotlivých částí obvodu, kterým protéká při vzniku poruchy poruchový proud od zdroje k místu poruchy. Podle typu sítě tvoří impedanci poruchové smyčky různé druhy impedancí a odporů. [7]

V síti TN tvoří impedanci poruchové smyčky:

- Z_T – impedance sekundárního vinutí napájecího transformátoru
- Z_L – impedance fázového vodiče od zdroje k místu poruchy
- R_{PE} – odpor PE/PEN vodiče od místa poruchy ke zdroji [7]

V síti TT tvoří impedanci poruchové smyčky:

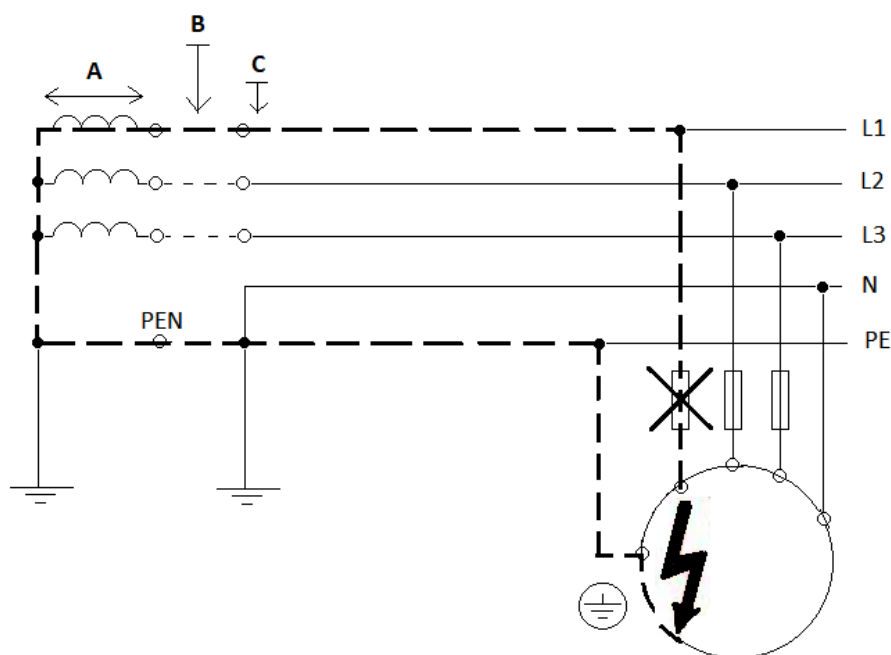
- Z_T – impedance sekundárního vinutí napájecího transformátoru
- Z_L – impedance fázového vodiče od zdroje k místu poruchy
- R_{PE} – odpor PE/PEN vodiče od místa poruchy ke zdroji
- Zemní odpor uzemnění zdroje (distribučního transformátoru) [7]

Měření odporu obvodu PE při revizích elektrických instalací je obzvláště důležité z hlediska jistění obvodu jističi nebo pojistkami. Tímto měřením se totiž zjišťuje, zda je tento odpor dostatečně malý, aby poruchový proud, který jím protéká, způsobil bezpečné vybavení jisticího prvku v předepsané době. Pokud by totiž odpor obvodu PE dosáhl vysoké hodnoty, mohlo by se stát, že omezí poruchový proud na takovou hodnotu, která již nedokáže vybavit jisticí prvek, ať už pojistku, nebo jistič. To by mohlo mít za následek hmotné škody nebo škody na zdraví. [6]

Ochranný obvod klade průchodu poruchového proudu odpor, nazývaný impedanci poruchové (někdy též vypínací) smyčky. Tento název dostal proto, že nemusí obsahovat jen reálnou neboli odporovou složku, nýbrž také induktivní, výjimečně i kapacitní složku. V praxi bývají tyto složky tak malé, že se mohou vzhledem k velikosti činného odporu zanedbat. Toto lze provést, je-li impedance smyčky větší než $0,4 \Omega$. [7]

Provádí-li se měření v blízkosti napájecího transformátoru (vzdálenost menší než 50 m), může indukční složka impedance, neboli indukance, nabývat hodnot srovnatelných s hodnotou činného odporu. V tomto případě se již induktivní složka zanedbat nemůže, protože bychom se dopustili chyby při měření, která by mohla

razantním způsobem ovlivnit rozhodnutí o správnosti funkce ochrany automatickým odpojením od zdroje. [7]



Obr. 3-1 Obvod poruchové smyčky [7]

Legenda k obrázku:

A ... zdroj

B ... distribuční síť

C ... počátek elektroinstalace

Na Obr. 3-1 je znázorněn průtok proudu obvodem poruchové smyčky, kde se nachází porucha izolace mezi živou a neživou částí elektrického zařízení. Z obrázku je patrné, že v okamžiku vzniku poruchy se fázové napětí připojí na ochranný obvod PE, což zapříčiní vznik napětí na všech částech spojených s obvodem PE. Napětí, které zde vzniklo, se nazývá dotykové napětí. [6]

Dotykové napětí je velice důležité při zajišťování bezpečnosti osob. Pokud je totiž jeho hodnota příliš velká, může způsobit úraz osobám, které se právě dotýkají elektrických zařízení, např. spotřebičů připojených k vodiči PE sítě. [6]

Odtud vyplývá, že poruchová smyčka musí disponovat takovými vlastnostmi, aby při poruše izolace mezi živou a neživou částí elektrického zařízení došlo k odpojení chráněné části obvodu jistíci prvky tak rychle, jak jen je to možné. Tím

se docílí toho, že se zařízení nebude dále poškozovat a nevznikne nebezpečné dotykové napětí na chráněných částech obvodu. [6]

Tyto parametry poruchové smyčky jsou splněny, pokud není poruchová smyčka přerušena a její impedance je dostatečně malá (čím menší impedance, tím větší bude poruchový proud a tím rychleji vybaví jistící prvky). Omezení velikosti dotykového napětí se dosáhne dobrým uzemněním obvodu PE. [6]

K zajištění toho, aby při vzniku poruchy jistící prvky odpojily místo poruchy od zdroje včas, tj. předtím, než by mohlo dojít k poškození elektrického zařízení nebo k úrazu elektrickým proudem, velikost impedance musí splňovat následující podmínku: [8]

$$Z_S \leq \frac{U}{I_a} \quad [\Omega] \quad (3.1)$$

kde:

I_a – proud zajišťující samočinné působení odpojovacího ochranného prvku v předepsané době

U – jmenovité střídavé napětí sítě proti zemi

Z_S – naměřená hodnota impedance smyčky L – PE [8]

3.1 Ovlivnění impedance vnějšími vlivy

Velikost poruchového proudu v době, kdy vznikla porucha, závisí na skutečné velikosti napětí v síti, která se ovšem může měnit a být jiná, než je velikost jmenovitého napětí U , ale je také závislá na velikosti impedance poruchové smyčky, která však může být také s časem proměnná. [8]

Účelem revize je ověření správné funkčnosti jistění obvodu nejen v době, kdy je revize prováděna, nýbrž hlavně v okamžiku budoucího průchodu poruchového proudu, kdy ale impedance smyčky může být rozdílná od impedance smyčky naměřené při revizi. Impedance vypínací (poruchové) smyčky může být v okamžiku vzniku skutečné poruchy podstatně vyšší než při revizním měření. Příčinou této skutečnosti je zejména oteplení vodičů, které může být způsobeno vyšší okolní

teplotou či vyšším proudovým zatížením sítě, případně ohřátím průtokem vysokého poruchového proudu. Stejně tak napětí sítě může mít jinou hodnotu při měření než při vlastní poruše, zejména vlivem kolísání napětí. [8]

Kvůli tomu se doporučuje, aby se tato možná změna impedance, zapříčiněná oteplením vodičů nebo nižším napětím sítě, zohlednila během měření vynásobením naměřené impedance vypínací smyčky koeficientem 1,5. Při následném posouzení správné funkce jištění se potom pracuje s již zvýšenou hodnotou impedance. [8]

Ovšem v koeficientu 1,5 není zahrnut vliv nepřesnosti měření impedance způsobené měřicím přístrojem. Proto je nutné, obzvláště při měření malých impedancí v obvodech s jištěním na velký zkratový proud, počítat i s vlivem této nepřesnosti měřicích přístrojů a použít pro měření přístroj s přesností co nejvyšší. Poté již výše uvedenou podmínku pro správnou funkci ochrany samočinným odpojením od zdroje lze vyjádřit takto: [8]

$$1,5 \cdot (Z_{S_{změř}} + \Delta Z_{S_{změř}}) \leq \frac{U}{I_a} \quad (3.2)$$

Po provedení úpravy má podmínka tvar:

$$(Z_{S_{změř}} + \Delta Z_{S_{změř}}) \geq \frac{2}{3} \cdot \frac{U}{I_a} \quad (3.3)$$

kde:

I_a – proud zajišťující samočinné působení odpojovacího ochranného prvku
v předepsané době

U – jmenovité střídavé napětí sítě proti zemi

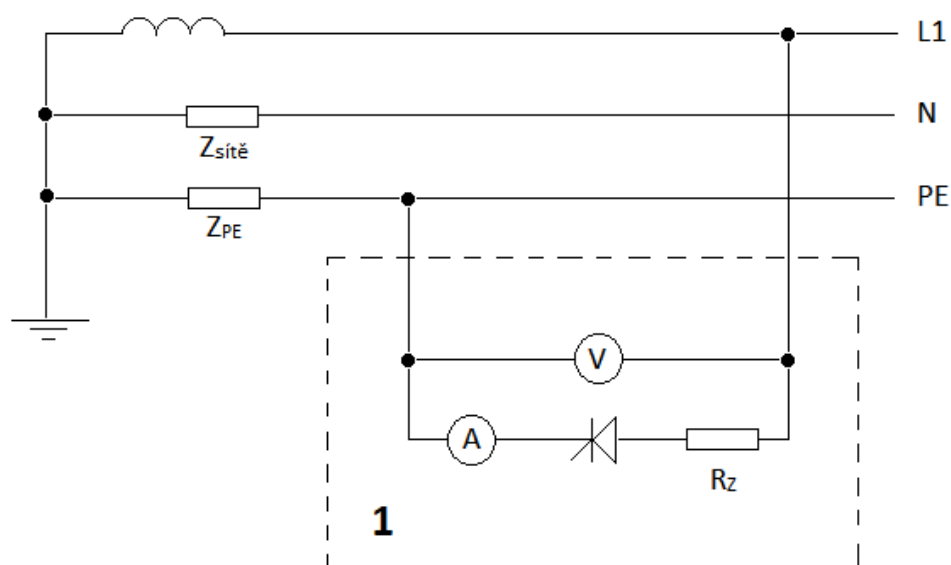
$Z_{S_{změř}}$ – naměřená hodnota impedance smyčky L – PE

$\Delta Z_{S_{změř}}$ – absolutní nejistota měření [8]

3.2 Měření impedance poruchové smyčky

3.2.1 Princip měření

Měření impedance vypínací smyčky probíhá ve všech přístrojích úplně stejně, a to tak, že přístroj simuluje vznik poruchy izolace mezi živou a neživou částí sítě. To vyvolá průchod simulovaného poruchového proudu, z čehož se pak vyhodnotí impedance měřeného obvodu. Tento princip měření je vyobrazen na Obr. 3-2. [6]



Obr. 3-2 Princip měření impedance poruchové smyčky [6]

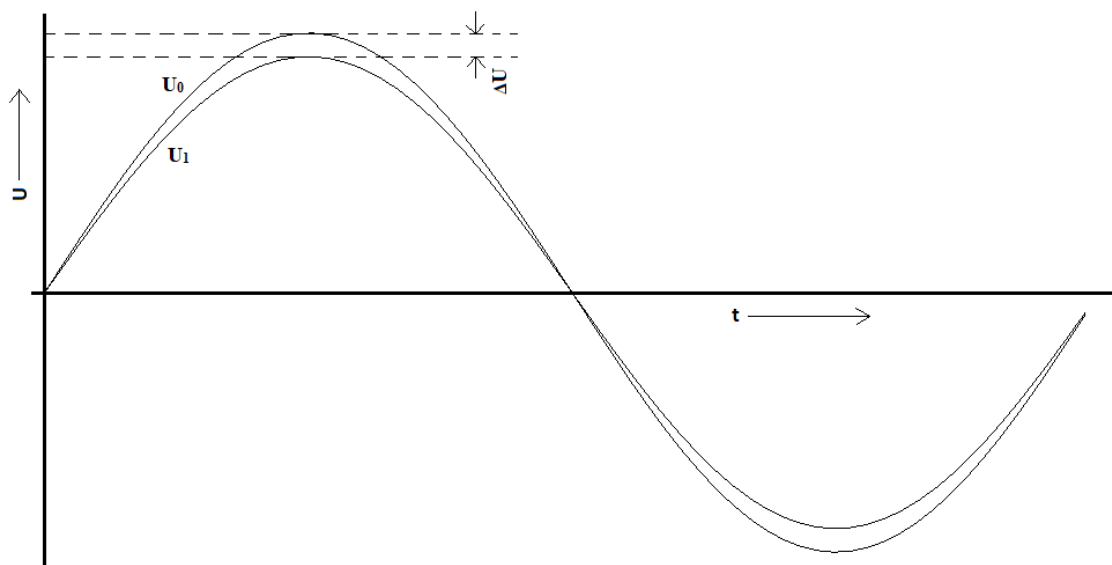
Legenda k obrázku:

1 ... měřicí přístroj

Z obrázku je vidět, že přístroj měřící impedanci je do obvodu zapojen mezi fázový vodič L1 a ochranný vodič PE. Nejprve se změří napětí zdroje naprázdno U_0 , tedy napětí na vodičích nezatížených. Poté se obvod zatíží připojením zatěžovacího rezistoru R_z , kterým bude protékat měřicí proud I . Zároveň se měří napětí U_1 , které se nyní nachází v obvodu. Naměřený rozdíl napětí $U_0 - U_1$ je úbytek napětí na měřené impedanci Z smyčky při průchodu proudu I . Přístroj poté vyhodnotí impedanci poruchové smyčky takto: [6]

$$Z = \frac{U_0 - U_1}{I} \quad (3.4)$$

Grafické znázornění zjištění úbytku napětí během dvou po sobě jdoucích půl period síťového napětí je na Obr. 3-3. Z hlediska lepší názornosti je úbytek napětí vyobrazen jako rozdíl vrcholových hodnot, avšak skutečnost je jiná. Přístroj totiž měří efektivní hodnoty obou napětí. [6]



Obr. 3-3 Úbytek napětí na měřené impedanci [6]

Z obrázku, nebo ze vzorce (3.4), lze soudit, že čím menší bude impedance poruchové smyčky, tím menší bude úbytek napětí, který na ní bude, a tím menší bude rozdíl napětí U_0 a U_1 , tedy napětí sítě nezatížené a zatížené. [6]

Co se týče přesnosti měření takto malých rozdílů napětí, lze soudit, že na ni mají vliv jakékoliv rušivé jevy v síti, vysoké nároky jsou také kladeny na elektronické měřicí obvody přístroje. Potom se dá říci, že čím je měřená impedance menší, s tím větší nejistotou (chybou) se měření provádí. [6]

Po zobecnění se dá usoudit, že na přesnost měření impedance mají především vliv:

- rušení v síti,
- zkreslení tvaru sinusového průběhu napětí,
- nestabilita síťového napětí,
- přesnost měření napětí přístrojem. [6]

3.2.2 Zajištění bezpečnosti a zvýšení přesnosti měření

Eliminace rušivých jevů v síti se provádí různými způsoby. U nejstarších měřicích přístrojů bylo docíleno eliminace prodloužením doby měření, kdy byl získán průměrný výsledek. Toto však mělo negativní vliv na bezpečnost měření, protože při měření je na ochranný vodič přivedeno fázové napětí. Pokud je jeho impedance příliš vysoká, objeví se na částech spojených s obvodem PE tzv. nebezpečné napětí. [6]

Moderní přístroje se již konstruují tak, aby buď neustále kontrolovaly dotykové napětí na vodiči PE při měření, a případně měření sami automaticky přerušily, pokud by napětí dosáhlo nebezpečné hodnoty, nebo u nich probíhá měření tak krátkou dobu, že pokud by se nebezpečné dotykové napětí v obvodu PE objevilo, nemůže v žádném případě dojít k úrazu elektrickým proudem. Tohoto druhého způsobu, kdy měření probíhá v krátkém čase, se u současných přístrojů využívá nejvíce. [6]

Výsledek u měření velmi malých impedancí poruchové smyčky je silně ovlivněn také odporem měřicích vodičů, přechodovým odporem mezi konektory přístroje pro připojení vodičů a kontakty měřicích vodičů, v neposlední řadě též přechodovým odporem mezi měřicími hroty a měřeným objektem. Co se týče odporu měřicích vodičů, standardně dodávaných s přístrojem, s jejich vlivem na měření je obvykle počítáno při výrobním nastavení přístroje. Přestože se odpor těchto vodičů může měnit, např. s oteplením vodičů, je vliv tohoto odporu na výsledek měření zanedbatelně malý u běžných přístrojů. U přechodového odporu mezi měřicími hroty a měřeným objektem je situace horší. Tento typ odporu je ovlivněn spoustou faktorů, např. přitlačnou silou hrotů k měřenému objektu, plochou styku měřicích hrotů nebo krokosvorek a měřeného objektu, případně korozí styčných povrchů atd. [7]

Zvýšení přesnosti měření a eliminace rušivých jevů v síti se u současných přístrojů řeší následujícími metodami: [7]

a) Měření jednou polovinou periody síťového kmitočtu, při kterém probíhá měření napětí bez zatížení zdroje v první půlplně v síti a v následující půlplně shodné polarity se připojí zatěžovací odpor do obvodu a změří se napětí a proud při zatížení. Tato metoda ovšem vyžaduje zatížení obvodu vyšším měřicím proudem, protože

měření probíhá v relativně krátkém čase. Výsledek měření může být též nepříznivě ovlivněn krátkodobými výkyvy napětí. [7]

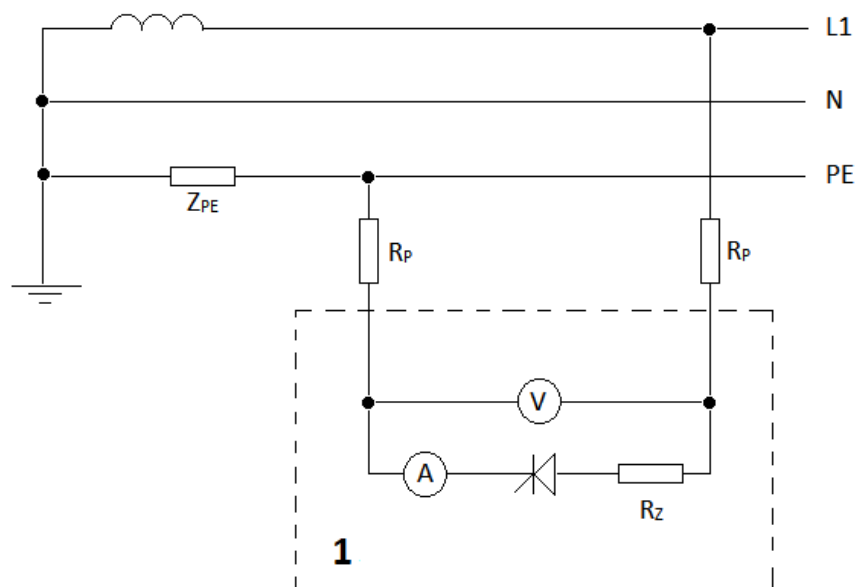
b) Přístroj provede několik těsně po sobě následujících měření, ze kterých vyhodnotí průměrný výsledek. Hlavní nevýhodou této metody je prodloužení času, po který měření probíhá, čímž pádem proud protékající zatěžovacím odporem produkuje vyšší množství tepla. Toto může vést u rozměrově menších přístrojů k jejich přehřívání při intenzivním používání. [7]

c) Čtyřvodičová metoda měření, používaná u přesných měřičů velmi malých impedancí. [7]

3.2.3 Čtyřvodičová metoda měření odporu

U měření velmi malých impedancí smyčky nelze zanedbat vliv odporu měřicích vodičů a přechodových odporů na styku měřicích vodičů a měřeného objektu. Tyto odpory se u běžných přístrojů, které se do obvodu připojují dvouvodičově, přičítají k naměřené impedanci. Ovšem jak bylo řečeno výše, nelze hodnotu těchto odporů zjistit dopředu, takže se od naměřené hodnoty impedance nedá odečíst. Proto se pro vyloučení vlivu těchto odporů u vysoce přesných měřičů impedance používá tzv. čtyřvodičové připojení k měřenému objektu. [7]

Měřiče impedance, které se připojují k měřenému objektu dvouvodičově, viz Obr. 3-4, snímají úbytek napětí v obvodu, kterým protéká měřicí proud, uvnitř přístroje na připojovacích svorkách. Takto změřený úbytek napětí tedy obsahuje navíc úbytek napětí na odporech měřicích vodičů a na přechodových odporech měřicích hrotů. [7]

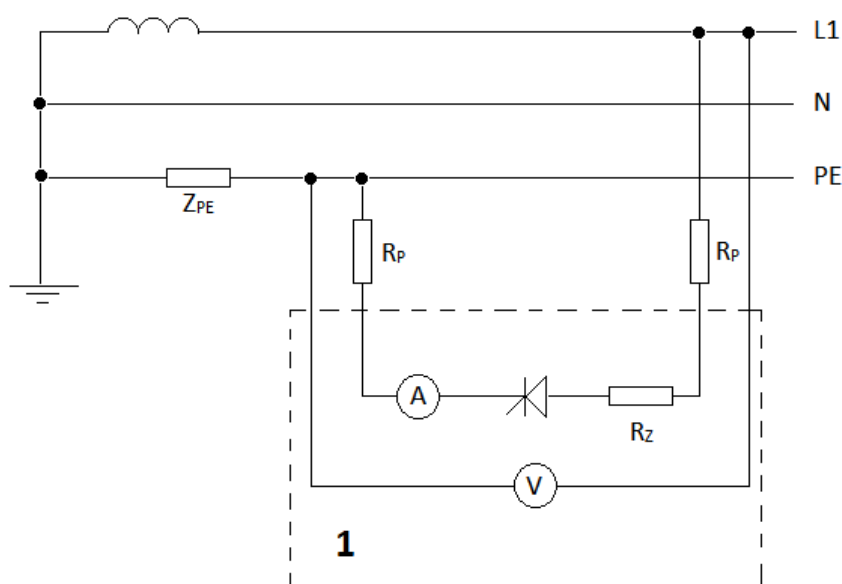


Obr. 3-4 Dvou vodičové připojení měřicího přístroje [7]

Legenda k obrázku:

1 ... běžný měřicí přístroj

Naproti tomu přístroj, který využívá čtyřvodičové připojení, viz Obr. 3-5, má odděleny svorky pro proudový obvod a pro snímání napětí na měřeném objektu. Tento přístroj se do obvodu připojí čtyřmi vodiči, přičemž dvěma prochází měřicí proud a dva snímají napětí, ovšem až za připojením proudových vodičů. Voltmetr použitý pro měření v tom případě měří úbytek napětí pouze na měřené impedanci vypínací smyčky. Odporů proudových vodičů a jejich přechodové odpory se tak v naměřeném výsledku neobjeví. Při praktickém měření je důležité, aby napěťové svorky byly zapojeny vně proudového okruhu. [7]



Obr. 3-5 Čtyřvodičové připojení měřicího přístroje [7]

Legenda k obrázku:

1 ... přesný měřicí přístroj

Je evidentní, že praktické použití čtyřvodičové metody není příliš pohodové, ve většině případů skoro nepoužitelné. Jedním takovým příkladem je měření impedance smyčky v síťových zásuvkách. Jeho hlavní využití je u velmi přesných měření impedance smyčky u obvodů, které jsou jistěny prvky s vysokým měřicím proudem, u kterých je na přívodech dostatečný prostor k připojení vodičů pomocí krokosvorek. [7]

3.2.4 Problematika měření impedance poruchové smyčky

Závěry vyplývající z principu měření impedance vypínací smyčky a požadavků na toto měření jsou následující: [6]

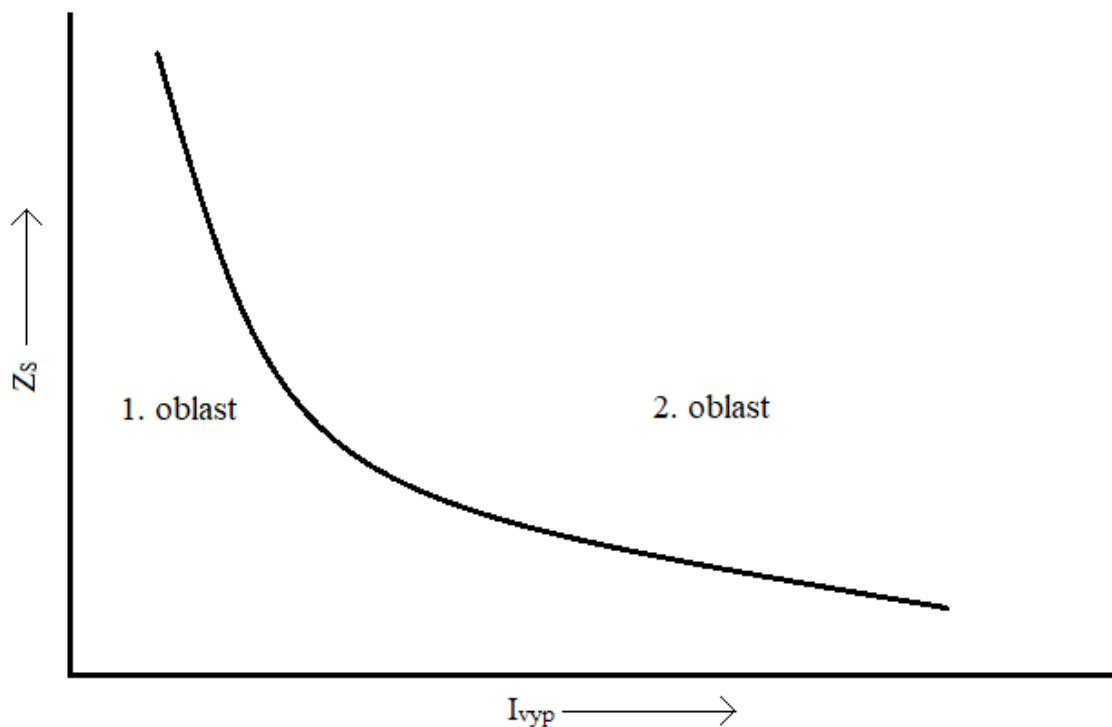
a) Je nutné dosáhnout dostatečné, co možná nejvyšší přesnosti měření pro relativně malé hodnoty impedance. Zvětšování měřicího proudu je omezeno měřicím přístrojem (zvětšování rozměrů zatěžovacího rezistoru, problém s odvodem vznikajícího tepla, atd.), a také sítě (její nadměrné zatěžování a omezení jistícími prvky, neboli dimenzováním pojistek a jističů). Doba měření též nelze prodlužovat z hlediska zajištění bezpečnosti měření. [6]

b) Pokud jsou v elektrické instalaci použity proudové chrániče, používaný měřicí proud způsobí vybavení chrániče, protože je příliš velký a chránič ho považuje za poruchu. Tímto ovšem chránič měření znemožní. Tento problém by se dal vyřešit zmenšením měřicího proudu na velikost, která ještě vybavení chrániče nezpůsobí, což však vede ke značnému zhoršení přesnosti měření. [6]

Protichůdné požadavky na měřicí metodu, související s jistěním sítě, jsou znázorněny na Obr. 3-6:

- čím větší je vybavovací proud jistících prvků sítě, tím menší musí být impedance vypínací (poruchové) smyčky (na obrázku znázorněno křivkou),

- čím menší je impedance vypínací smyčky, tím přesnější přístroj pro měření je potřeba použít. [6]



Obr. 3-6 Požadavky na měřicí přístroj v závislosti na jištění sítě [6]

Legenda k obrázku:

I_{vyp} ... vypínací proud jištění

Z_s ... impedance poruchové smyčky

1. oblast ... oblast, kde postačuje nízká přesnost měřicích přístrojů

2. oblast ... oblast, kde je potřeba vysoká přesnost měřicích přístrojů

Závěr je tedy jasný. Pro měření v elektrických instalacích, kde je jištění provedeno jisticími prvky s větším vybavovacím proudem, je nezbytné použít přesnější měřicí přístroj. Vhodná volba měřicího přístroje pro měření v dané síti je tedy velice důležitá, musí se pečlivě zvážit. Požadavek na přesnost měřicího přístroje v závislosti na parametrech jištění je uveden i v normách řady ČSN EN 61557. [6]

3.2.5 Technické parametry měřicího přístroje

Jak je napsáno v předchozím odstavci, velký vliv na přesnost měření impedance vypínací smyčky mají použité měřicí přístroje. Přesnost, se kterou měřicí přístroje pracují, a další údaje, které jsou důležité pro vyhodnocení měření, lze obvykle nalézt v návodu k použití, dodávaném k samotnému měřicímu přístroji.

Údaje jsou většinou v kapitole označené jako „Technické parametry“. Důležité údaje potřebné pro provoz měřicího přístroje, které by v návodu k použití neměly chybět, jsou definované v normě ČSN EN 61557. Nedůležitější pojmy z technických parametrů, pomocí kterých se stanovují chyby měření, jsou vysvětleny dále. [9]

Základní nejistota (chyba) měření – je to nejistota měření, která byla určena za referenčních podmínek. Tento údaj je důležitý pro kalibrační laboratoř, kde bude provedena kalibrace přístroje. [8]

Pracovní nejistota (chyba) měření – je to nejistota měření, která byla určena za pracovních podmínek. Tuto chybu stanovuje výrobce přístroje a to tak, že se k základní chybě přičtou všechna možná zhoršení přesnosti, vznikající okolními vlivy, pokud přístroj není používán v referenčních podmínkách. Tento údaj je důležitý pro uživatele přístroje. Pokud by tato chyba nebyla uvedena v návodu k použití přístroje, v podstatě je přístroj nepoužitelný pro revizní činnost. [9]

Pracovní podmínky – jsou to podmínky, při kterých lze přístroj používat a při nichž je určena pracovní chyba měření. Mezi tyto podmínky lze zařadit např. okolní teplotu, relativní vlhkost vzduchu, napájecí napětí přístroje, atd. Mimo tyto určené pracovní podmínky nelze přístroj provozovat, protože v této oblasti není stanovená přesnost měření přístroje, nejde tedy určit, jak moc se naměřená hodnota liší od skutečné. Používání přístroje mimo definované podmínky může být taktéž nebezpečné z hlediska poškození přístroje, např. by mohlo dojít k průrazu izolace při vysoké vlhkosti ovzduší. [9]

Referenční podmínky – jsou to podmínky použití, které jsou předepsány pro vzájemné porovnání výsledků měření, např. při kalibraci v laboratoři. Jsou podobné jako pracovní podmínky, jen jejich toleranční pásmo je výrazně menší. Při těchto podmínkách se určuje základní chyba měření. [9]

Měřicí rozsah – rozsah hodnot, které je schopen přístroj měřit s definovanou přesností. Pokud je tedy velikost měřené veličiny v tomto intervalu, lze určit absolutní nejistotu, se kterou byla změřena. [8]

Rozlišovací schopnost – nejmenší rozdíl indikací zobrazovacího zařízení (displeje), který může být rozlišován. Co se týče digitálních přístrojů, je to nejmenší hodnota, kterou je schopen přístroj rozeznat, např. jedno číslo na posledním místě displeje, které se z hlediska určování nejistoty měření nazývá digit. [8]

Jmenovitý rozsah – je to rozsah, ve kterém přístroj měří s relativní pracovní nejistotou menší nebo rovnou hodnotě požadované příslušnou normou (ČSN EN 61557). Jmenovitý rozsah je jeden z nejdůležitějších údajů pro přístroje měřící impedanci, který se dá vyčíst z technických parametrů. Je to proto, že se podle něj určuje vhodnost použití konkrétního měřicího přístroje pro konkrétní měření. Pomocí tohoto údaje lze usoudit, jestli pro měření obvodu s daným jištěním bude přístroj vyhovující z hlediska přesnosti, nebo jestli se bude muset použít přesnějšího přístroje. Přístroj je pro měření vhodný tehdy, pokud se velikost měřené impedance nachází uvnitř jmenovitého rozsahu. Měřenou impedancí se myslí hodnota zjištěná výpočtem, která určuje, jestli jištění elektrické instalace bude při poruše pracovat správně. Měřiče impedance dokáží měřit hodnoty v celém měřicím rozsahu, což znamená i mimo jmenovitý rozsah. Pokud se ovšem použije k měření nízké hodnoty impedance přístroj, který má malou přesnost, může se stát, že nejde rozhodnout, jestli jištění bude při poruše fungovat jak má. [9]

Dalšími pojmy, které však nenajdeme v technických parametrech, přestože jsou důležité pro pochopení toho, co je myšleno nejistotou měření uvedenou v návodu k použití a jaké požadavky kladou normy na přesnost přístrojů, jsou absolutní a relativní nejistota měření. [9]

Absolutní nejistota měření – tento údaj bývá uveden v technických parametrech přístroje, avšak pod jiným názvem, a to základní nebo pracovní nejistota (chyba) měření. Pomocí něj lze stanovit absolutní hodnotu (velikost) nejistoty, se kterou byla naměřena konkrétní hodnota, a to přímo v jednotkách měřené veličiny. Tato nejistota se nejčastěji skládá ze dvou částí. První část je proměnná a její absolutní hodnota je závislá na velikosti naměřené hodnoty, nazývá se nejistotou z měřené hodnoty. Druhá část je konstantní, a to v celém měřicím rozsahu, je nezávislá na velikosti naměřené hodnoty, nazývá se nejistotou z měřicího rozsahu. Po sečtení obou částí vznikne hodnota absolutní nejistoty měření. Pokud se tato hodnota absolutní nejistoty měření přičte a odečte od naměřené hodnoty, definuje se interval, ve kterém se nalézá skutečná hodnota měřené veličiny. V technických parametrech přístroje se vyskytují různé tvary zápisu absolutní nejistoty měření. V současné době převládající digitální měřicí přístroje mají absolutní nejistotu měření nejčastěji uvedenou v následujícím tvaru: [9]

$$\pm(x \% z MH + yD) \quad (3.5)$$

kde:

$x \% z MH$ – proměnná část absolutní nejistoty, která se vypočítá jako příslušné procento z naměřené hodnoty (z hodnoty na displeji měřicího přístroje)

yD – neproměnná část absolutní nejistoty, která značí počet digitů (viz rozlišovací schopnost přístroje). Někdy se místo digitů používá pro vyjádření této části nejistoty přímo příslušných jednotek (např. u voltmetru přímo ve voltech)

U analogových (ručkových) přístrojů, ovšem občas se s tím můžeme setkat i u digitálních přístrojů, je absolutní chyba měření uvedena tímto způsobem: [9]

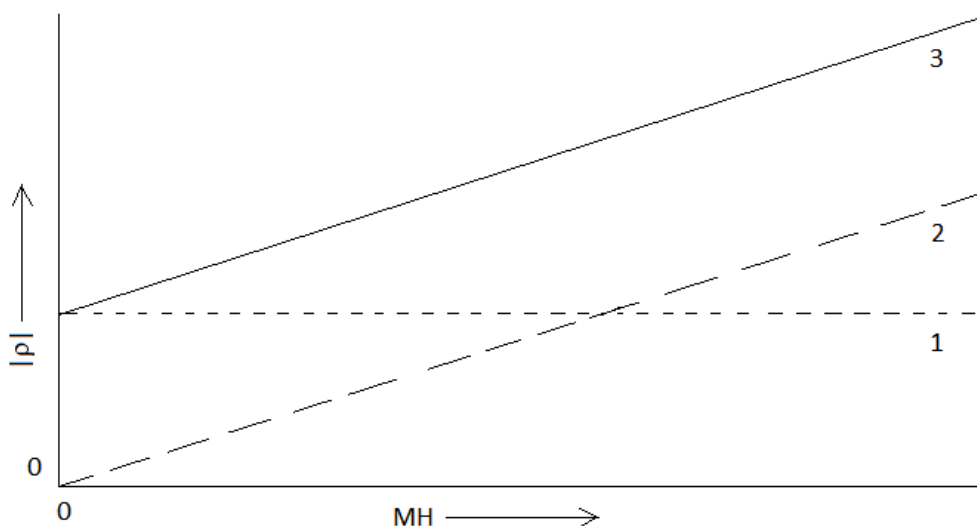
$$\pm(x \% z MH + y \% z MR) \quad (3.6)$$

kde:

$x \% z MH$ – proměnná část absolutní nejistoty, která se vypočítá jako příslušné procento z naměřené hodnoty (z hodnoty na displeji měřicího přístroje)

$y \% z MR$ – neproměnná část absolutní nejistoty, která se vypočítá jako příslušné procento z měřicího rozsahu přístroje, tj. z největší hodnoty, kterou je měřicí přístroj schopen zobrazit v daném měřicím rozsahu. [9]

Na následujícím grafu je vyobrazeno znázornění jednotlivých složek absolutní nejistoty (chyby) měření. [8]



Obr. 3-7 Grafické znázornění chyby měření [9]

Legenda k obrázku:

MH ... hodnota měřená přístrojem

$|\rho|$... absolutní hodnota chyby měření

1 ... yD

2 ... x % z MH

3 ... x % z MH + yD

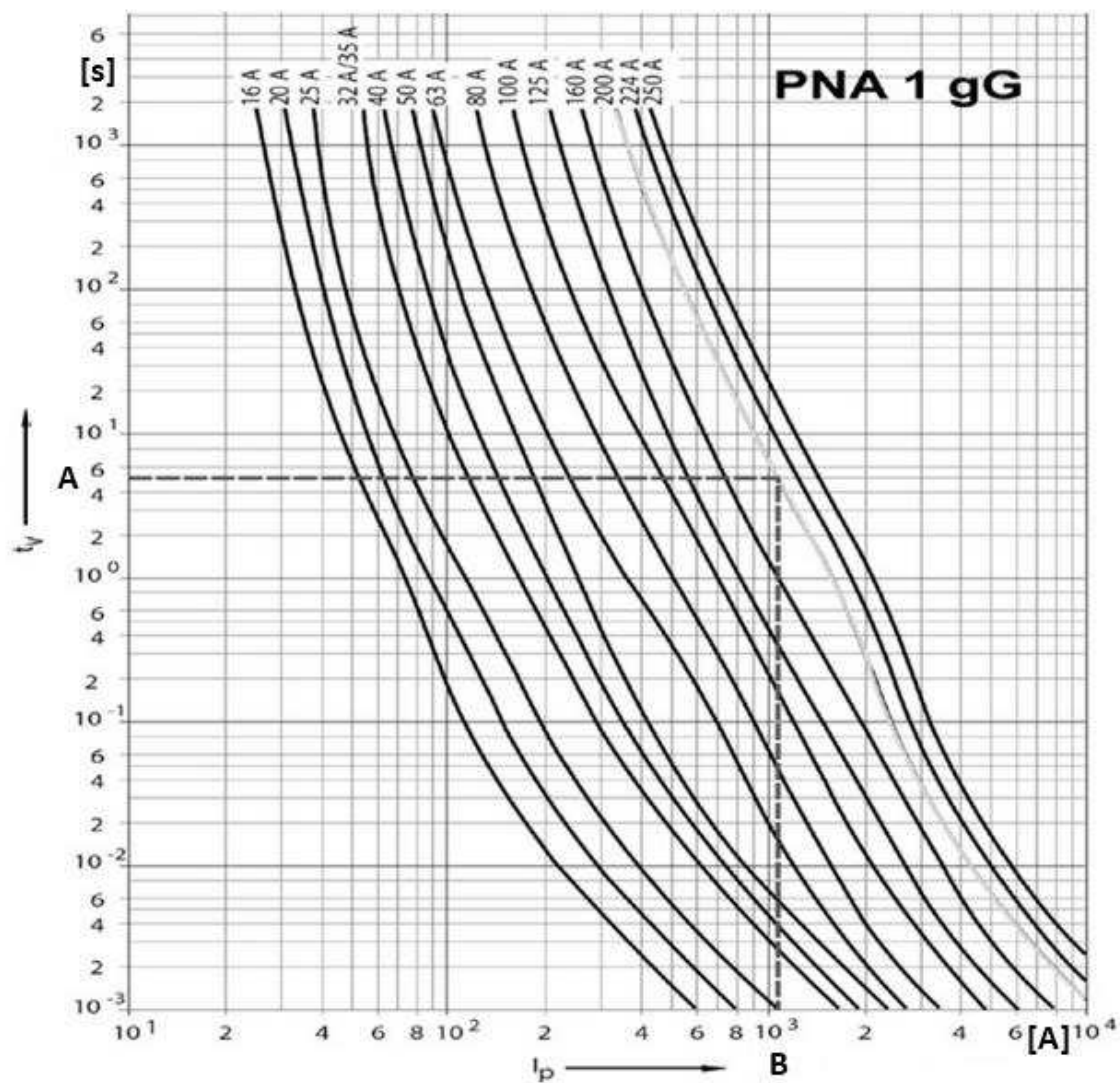
Relativní nejistota měření – z hlediska posouzení použitelnosti přístroje podle ČSN a stanovení jmenovitého pracovního rozsahu se touto nejistotou myslí procentuální podíl velikosti absolutní nejistoty měření z naměřené hodnoty veličiny, ovšem vztažený ke jmenovité hodnotě. Když normy, např. ČSN EN 61557, požadují, aby pracovní nejistota měření nepřesáhla maximální odchylku 30 % od naměřené hodnoty v určitém rozsahu, myslí se tím právě relativní nejistota měření. Proto se relativní nejistota měření nesmí zaměňovat s absolutní nejistotou měření. [8]

4 IMPEDANCE VYPÍNACÍ SMYČKY Z HLEDISKA JISTÍCÍCH PRVKŮ OBVODU

4.1 Příklad ověření funkčnosti jištění pro velký vypínací proud

Praktický postup při ověření jištění u konkrétního ochranného obvodu je uveden na následujícím příkladu. Pro maximální přiblížení reality je příklad pro ověření jištění uveden u stroje, který je napájen sítí o napětí 400 V/50 Hz, neboli 3 x 230 V proti zemi. Jištění stroje je provedeno pojistkami o jmenovitém vypínacím proudu $I_N = 200$ A. Navíc je uvedena i úvaha o výběru vhodného měřicího přístroje. [8]

Předepsaná doba odpojení od sítě při poruše je pro stroje 5 s. Z charakteristiky jistícího prvku (v našem případě pojistky) se odečte proud I_P , který v předepsané době 5 s vyvolá popud k vypnutí jištění. [8]



Obr. 4-1 Vypínací charakteristika pojistek PNA 1 gG, ze které se stanoví vybavovací proud jištění [8]

Legenda k obrázku:

A ... předepsaná doba odpojení $t_v = 5 \text{ s}$

B ... vybavovací proud jištění $I_p = 1150 \text{ A}$

Dále se příslušným výpočtem provede zjištění maximální velikosti impedance vypínací smyčky:

$$Z_S \leq \frac{U}{I_p} = \frac{230 \text{ V}}{1150 \text{ A}} = 0,20 \, \Omega \quad (4.1)$$

Poté je třeba vybrat vhodný měřicí přístroj, který máme k dispozici. Srovnáním parametrů dostupných měřičů impedance, které jsou uvedeny v Tabulce 2, např. ZEROLINE 60, EUROTTEST 61557 a ZEROTEST 46, se zjistí, porovnáním spodních hranic jejich jmenovitých rozsahů, že v tomto případě, kdy je stroj jištěn 200 A pojistkami, je pro měření impedance poruchové smyčky nejvhodnější použít přístroj ZEROLINE 60. Co se týče přístroje EUROTTEST 61557, je také možno ho použít, ovšem mezní hodnota 0,20 Ω , která bude měřena a na základě které se vyhodnotí funkčnost pojistky, jakožto ochrany samočinným odpojením od zdroje, se už blíží hranici jmenovitého rozsahu tohoto přístroje. S přístrojem ZEROTEST 46 by bylo možno také měřit, ovšem tento přístroj nevyhovuje měření impedance poruchové smyčky v takto jištěných obvodech z hlediska požadavků normy ČSN EN 61557. Přístroj nevyhovuje z důvodu toho, že požadovaná maximální hodnota impedance 0,20 Ω , která má být změřena, je mimo jmenovitý rozsah měřicího přístroje. [8]

Technické parametry	ZEROLINE 60	EUROTTEST 61557	ZEROTEST 46
Měřicí rozsah	0,000 – 1,500 Ω	0,00 – 19,99 Ω	0,00 – 1,00 Ω
Rozlišení	0,001 Ω	0,01 Ω	0,01 Ω
Pracovní nejistota měření	$\pm (3 \% \text{ z MH} + 10 \text{ D})$	$\pm (3 \% \text{ z MH} + 3 \text{ D})$	$\pm 9 \text{ D}$
Jmenovitý rozsah	0,038 – 1,500 Ω	0,11 – 1999 Ω	0,30 – 22,9 Ω

Tabulka 2: Technické parametry dostupných měřicích přístrojů [10]

Nejprve se provede měření přístrojem EUROTTEST 61557, aby bylo ověřeno, že je opravdu k tomuto měření nevhodný. Hodnota impedance vypínací smyčky, která byla u stroje naměřena, je 0,11 Ω . Poté se provede připočítání chyby měření, aby se zjistilo, jaké skutečné maximální hodnoty může impedance vypínací smyčky u stroje dosahovat. [8]

$$\text{Nejistota měření} = 3 \% \text{ z } 0,11 \Omega + 3 \text{ D} = 0,003 + 0,03 = \pm 0,033 \Omega \quad (4.2)$$

Skutečná hodnota naměřené impedance se tedy bude pohybovat v intervalu:

$$Z_{\text{Szměř}} = 0,11 \Omega \pm 0,033 \Omega = 0,077 \div 0,143 \Omega \quad (4.3)$$

Měřením se tedy zjistila velikost impedance vypínací smyčky stroje, s připočítáním nejistoty měření, až 0,143 Ω . Vždy se z hlediska bezpečnosti bere vyšší

mez intervalu. Tato hodnota ovšem ještě není konečná, je potřeba ji vynásobit bezpečnostním koeficientem 1,5. To je potřeba, jak bylo zmíněno výše, z hlediska možného oteplení vodičů při poruše, atd. Potom se tedy pro vyhodnocení správné funkce pojistky jako jištění stroje musí počítat hodnota impedance: [8]

$$Z_S = 0,143 \, \Omega \cdot 1,5 = \mathbf{0,22 \, \Omega} \quad (4.4)$$

Kdyby se vynásobily obě dvě meze původního intervalu, vyjde interval od cca 0,12 Ω do 0,22 Ω , ve kterém se může nacházet skutečná hodnota impedance poruchové smyčky stroje s tímto jištěním v době vzniku poruchy. Závěr tohoto měření v revizní zprávě by musel obsahovat nejhorší možnou hodnotu, tedy 0,22 Ω . Z toho vyplývá, že je dané jištění nevyhovující, přestože s velkou pravděpodobností vyhovující být může podle polohy a počtu hodnot vypočteného intervalu. Z tohoto důvodu je přístroj EUROTTEST 61557 nevhodný pro toto měření. [8]

Musí se tedy použít přesnějšího přístroje, pokud je požadavek přesnějšího měření. Proto se použije měřicí přístroj ZEROLINE 60, na kterém bude naměřen opět výsledek 0,11 Ω . Po započítání nejistoty měření se dojde k následujícímu výsledku: [8]

$$\text{Nejistota měření} = 3 \% \text{ z } 0,11 \, \Omega + 10 D = 0,003 + 0,010 = \pm 0,013 \, \Omega \quad (4.5)$$

Výsledná hodnota impedance tedy bude v intervalu:

$$Z_{Szměř} = 0,11 \, \Omega \pm 0,013 \, \Omega = 0,097 \div 0,123 \, \Omega \quad (4.6)$$

Naměřenou hodnotu impedance po připočtení nejistoty měření je třeba opět vynásobit bezpečnostním koeficientem 1,5. Tím se dostane hodnota impedance poruchové smyčky v nejméně příznivém případě: [8]

$$Z_S = 0,113 \, \Omega \cdot 1,5 = \mathbf{0,185 \, \Omega} \quad (4.7)$$

Nyní je již jasné, že naměřená hodnota impedance nepřekračuje maximální dovolenou hodnotu 0,20 Ω . Dá se tedy prohlásit, že jištění (v tomto případě pojistka) bude fungovat správně. [8]

4.2 Příklad ověření funkčnosti jištění pro malý vypínací proud

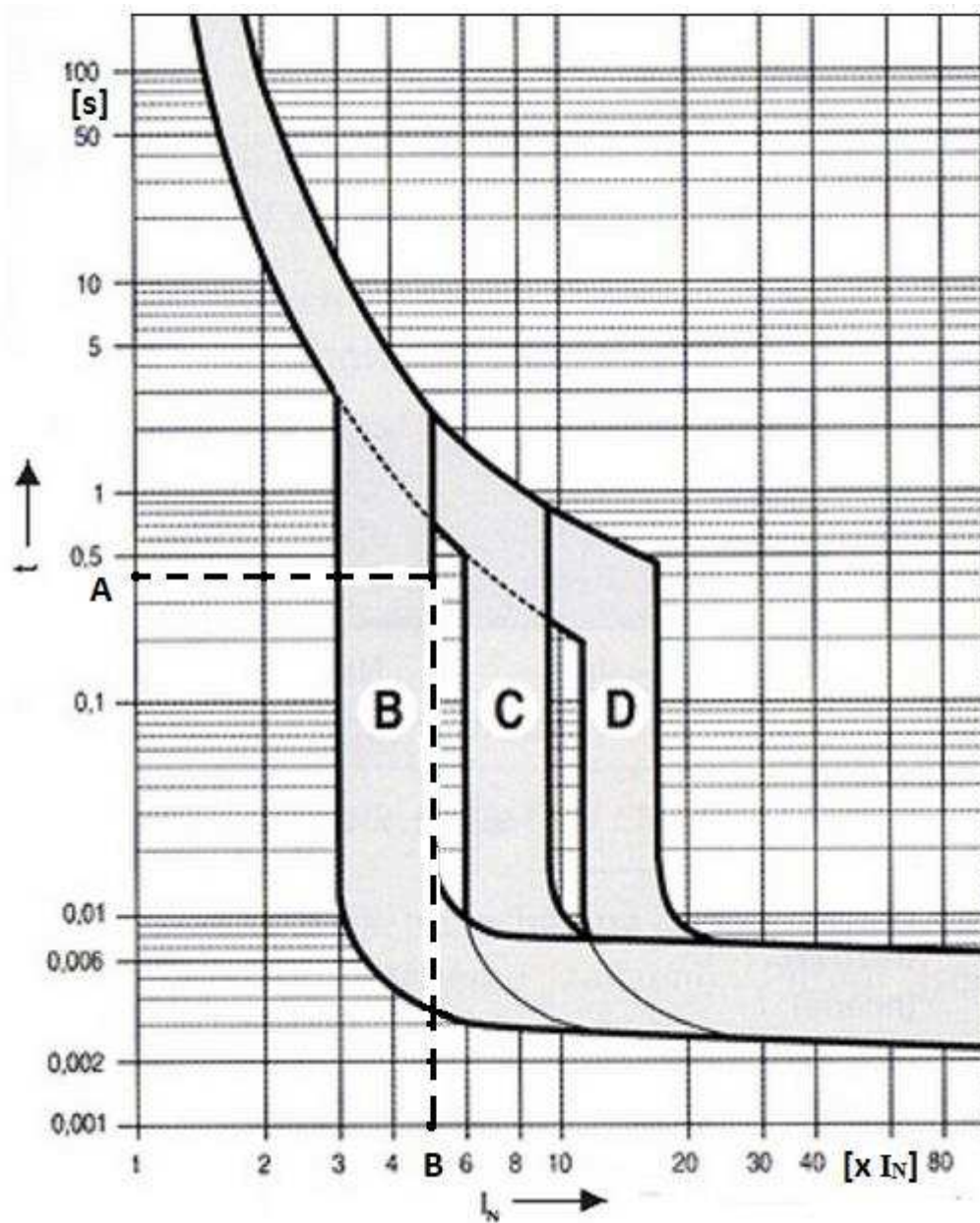
Z hlediska výběru měřicího přístroje pro měření impedance vypínací smyčky bude v tomto případě situace jednodušší. Při vyhodnocování funkčnosti jistících prvků v elektrické instalaci chráněné prvky s malým vypínacím proudem se měří impedance poruchové smyčky vyšší, než v případě jistících prvků s vysokým vypínacím proudem. Impedance poruchové smyčky může být vyšší z toho důvodu, že na vybavení jistícího prvku stačí menší zkratový proud. Díky tomu nemá přesnost měření impedance vypínací smyčky na výsledek rozhodnutí o funkčnosti jištění velký vliv. [10]

Příkladem elektrické instalace chráněné jistícím prvkem s malým vypínacím proudem je běžná domovní elektroinstalace, která bývá jištěna jističem B 16 A. Co se týče doby odpojení elektrických zařízení od zdroje, tak do velikosti jištění 32 A v sítích TN je to 0,4 s (viz Tabulka 3). [10]

Jmenovité napětí U [V] fázového nebo krajního vodiče sítě vůči uzemněnému bodu sítě		Maximální doby odpojení t [s]			
		V koncových obvodech jištěných do 32 A		V obvodech jištěných nad 32 A	
		TN	TT	TN	TT
$50\text{ V} < U \leq 120\text{ V}$	AC	0,8	0,30	5	1
	DC	Z důvodu ochrany před úrazem se odpojení nevyžaduje.			
$120\text{ V} < U \leq 230\text{ V}$	AC	0,4	0,20	5	1
	DC	5,0	0,40		
$230\text{ V} < U \leq 400\text{ V}$	AC	0,2	0,07	5	1
	DC	0,4	0,20		

Tabulka 3: Přehled maximálních dob odpojení od zdroje podle normy ČSN 33 2000-4-41 ed.2 [10]

Z vypínací charakteristiky jističů se odečte minimální vybavovací proud. U jističů B je minimální vybavovací proud pro požadovanou dobu odpojení pětinásobkem jmenovitého vypínacího proudu. [10]



Obr. 4-2 Vypínací charakteristika jističů, ze které se stanoví vybavovací proud jištění [10]

Legenda k obrázku:

A ... požadovaná doba odpojení $t = 0,4 \text{ s}$

B ... vybavovací proud jištění $I_p = 5 \cdot I_N = 5 \cdot 16 = 80 \text{ A}$

Dále se provede výpočet maximální impedance vypínací smyčky:

$$Z_S \leq \frac{U}{I_P} = \frac{230 \text{ V}}{80 \text{ A}} = 2,88 \, \Omega \quad (4.8)$$

Z vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky lze odvodit, že pro ověření takové hodnoty impedance vypínací smyčky může být použit kterýkoli měřicí přístroj ze tří dříve jmenovaných (viz Tabulka 2). Nejspíše nebude potřeba počítat ani s nejistotou měření, protože pokud naměříme hodnotu impedance hluboko pod vypočtenou mezní hodnotou, pak připočítání nejistoty měření nebude mít na rozhodnutí o funkčnosti jištění žádný vliv. [10]

4.3 Impedance vypínací smyčky z hlediska obvodů jištěných proudovým chráničem

Z hlediska vybavení jisticích prvků, jako jsou pojistka nebo jistič, je nutné, aby poruchový proud měl dostatečnou velikost, obvykle desítky až stovky ampérů. Většinou k vybavení jisticích prvků nestačí jen náhodné uzemnění živé části, např. dotykem člověka, ale je nutné uzavření poruchového proudu obvodem s daleko menším odporem přes PE obvod (u sítí TN), uzemněním (u sítí TT) nebo mezi pracovními vodiči. [8]

U proudového chrániče jako dalšího jisticího prvku je situace odlišná. Proudový chránič totiž reaguje na podstatně menší poruchové proudy, které se pohybují v rozsahu desítek až stovek miliampérů. Tyto proudy navíc nutně musí odtékat mimo živou část elektrického zařízení. Funkcí proudového chrániče je ochrana osob, které se dostanou do styku s živou částí elektrického zařízení, nikoli ochrana samotného zařízení, případně elektrické instalace, před poškozením, pokud dojde k poruše v síťové části (zkrat mezi L a N) nebo před chráničem. Díky tomu, že proudový chránič má nízký vybavovací proud, zareaguje na vznikající poruchu i tehdy, pokud je velikost impedance vypínací smyčky poměrně vysoká. [8]

Co se týče použití proudového chrániče v elektrické instalaci, je využíván buď jako ochrana automatickým odpojením od zdroje v případě vzniku poruchy za chráničem, nebo se použije jako doplňková ochrana pro ochranu osob před úrazem při styku s nebezpečným napětím. [8]

Při použití jako ochrana automatickým odpojením od zdroje je stanoveno normou ČSN 33 2000-6, že se měření impedance smyčky nemusí provádět z důvodu ověření podmínky automatického odpojení od zdroje chráničem, avšak musí se tímto měřením zkontrolovat, jestli k automatickému odpojení dojde i při poruše před chráničem, a také zda je zajištěna spojitost vodičů elektrického obvodu. Normou je též doporučeno, aby se měřením impedance smyčky ověřila spojitost obvodu pracovních vodičů L - N. Tímto měřením se totiž dají odhalit velké odpory, které mohou být způsobeny uvolněnými svorkami a kontakty v elektroinstalaci, a ty by mohly posléze při průchodu většího proudu způsobit svým zahříváním zvýšené riziko vzniku požáru. Navíc dostatečně nízká impedance sítě (L - N) zajistí odpojení elektrického zařízení při zkratu mezi těmito svorkami, čímž zabrání poškození instalace při této poruše. [8]

Použit proudový chránič jako doplňkovou ochranu, neboli jako dodatečnou ochranu při selhání ochrany základní nebo při neopatrnosti uživatele, je také možné, avšak potom se proudový chránič nepovažuje za výhradní ochranné opatření. Přesto je nutné ověřit velikost impedance poruchové smyčky měřením. [8]

Z principu měření impedance poruchové smyčky vyplývá, že měřicí proud je zároveň poruchovým proudem protékajícím při měření ochranným obvodem elektroinstalace. Ovšem následkem zatížení PE obvodu tímto měřicím poruchovým proudem obvykle proudový chránič, pokud je součástí instalace, vybaví, čímž je znemožněno impedanci vypínací smyčky změřit. Avšak měření impedance poruchové smyčky je nutné provést i v těchto obvodech, z čehož vyplývá nutnost zajistit, aby proudový chránič nevybavil. Překlenutí proudového chrániče vodičem se nedoporučuje, protože jde o zásah do elektroinstalace, čímž pádem měření neprobíhá za podmínek, ve kterých bude následně instalace provozována. Proudový chránič a případně i jeho svorky se totiž podílí na velikosti celkového odporu PE smyčky. Z tohoto důvodu snad každý měřič impedance umožňuje zvolit měření, při kterém je použita určitá metoda měření impedance v obvodech, které jsou jistěny proudovými chrániči. Problematika měření impedance v těchto obvodech však není jednoduchá. Některé měřicí metody jsou nepřesné a nespolehlivé, jejich výsledky jsou spíše orientační. Proto při výběru měřicího přístroje je nutné ověřit, zda přístroj měření

v obvodech s proudovým chráničem umožňuje, a také, jakou měřicí metodu s jakou přesností při tomto měření používá. [8]

Také je třeba uvědomit si, že jakákoli metoda měření impedance poruchové smyčky v obvodu jištěném proudovým chráničem může selhat z hlediska jeho nevybavení, například tím, že protéká vysoký svodový proud v elektrické instalaci. Při měření impedance vypínací smyčky se musí pamatovat na to, že proudový chránič může v podstatě kdykoliv během měření vybavit. [8]

4.4 Měření impedance vypínací smyčky v obvodech jištěných proudovým chráničem

4.4.1 Měření impedance vypínací smyčky polovinou vybavovacího proudu

Přístroje, které měří impedanci vypínací smyčky a zároveň ověřují obvody s proudovými chrániči, měří dotykové napětí proudem menším než je polovina vybavovacího proudu chrániče. Toto měření probíhá podobně jako měření impedance vypínací smyčky. Měřené dotykové napětí obvodu PE vůči zemi je změřeno jako rozdíl napětí zdroje bez zatížení a napětí zdroje zatíženého měřicím proudem, jehož velikost je však menší než polovina vybavovacího proudu chrániče. Tohoto se následně využívá tak, že ze změřeného rozdílu napětí se současně vypočte impedance poruchové smyčky. [11]

Nevýhodou tohoto měření je vysoká chyba, jelikož pro vybavovací proud chrániče 30 mA se měří proudem 15 mA. Při takto malém proudu je však velmi malý také měřený úbytek napětí na impedanci poruchové smyčky. Vysoká hodnota chyby měření způsobuje to, že naměřená hodnota impedance vypínací smyčky je natolik nepřesná, že se bere jen jako orientační a dále se již nezpracovává. [11]

4.4.2 Konstrukční vlastnosti proudového chrániče využívané pro měření impedance

Některé konstrukční vlastnosti proudových chráničů lze využít pro měření impedance větším proudem, než je polovina vybavovacího proudu chrániče. Jelikož úplně přesné vlastnosti proudových chráničů nejsou známy, je tento postup měření spíše o pokusech, jestli se měření podaří, aniž by proudový chránič vybavil. [11]

Chrániče typu AC, hlavně starší typy, jsou citlivé jen na jednu polaritu poruchového proudu. Pokud se tedy měření provede proudovým impulzem opačné polarity, než na kterou je chránič citlivý, proudový chránič nevybaví a měření proběhne úspěšně. Je však potřeba vyzkoušet, na kterou polaritu daný proudový chránič nereaguje, z čehož vyplývá vysoká pravděpodobnost, že chránič při prvním pokusném měření vybaví. Navíc moderní proudové chrániče typu AC už reagují na obě polarity proudu, takže tato metoda nelze použít. [11]

U chráničů typu A nebo AC, které už jsou citlivé na obě polarity poruchového proudu, se může vyzkoušet jiná vlastnost magnetického obvodu chrániče pro měření impedance. Pokud chráničem projde měřicí impuls určité polarity, chránič vybaví. Ovšem pokud dojde k odpojení poruchového proudu v okamžiku jeho maximální hodnoty, zůstane magnetické jádro proudového chrániče nějakou dobu zmagnetováno. Následně se použije měřicí impuls opačné polarity, než byl předchozí, který demagnetuje jádro, ale nezpůsobí vybavení chrániče. Tento jev je však víceméně náhodný, jeho vznik je závislý na materiálu magnetického jádra, stejně tak jako na okamžiku odpojení měřicího poruchového proudu, který však nelze při měření impedance ovlivnit. [11]

U obvodů jištěných chrániči typu G a S se dá využít skutečnosti, že použitý měřicí impuls je krátký, obvykle 10 ms, a tyto zpožděné chrániče takto rychle nezareagují. [11]

Je zřejmé, že měření impedance vypínací smyčky metodami popsanými výše lze, jen pokud měřicí přístroj vygeneruje do měřeného obvodu poruchové smyčky proud, který trvá jednu půlvlnu síťového napětí. Jestliže měřicí proud způsobí zatížení

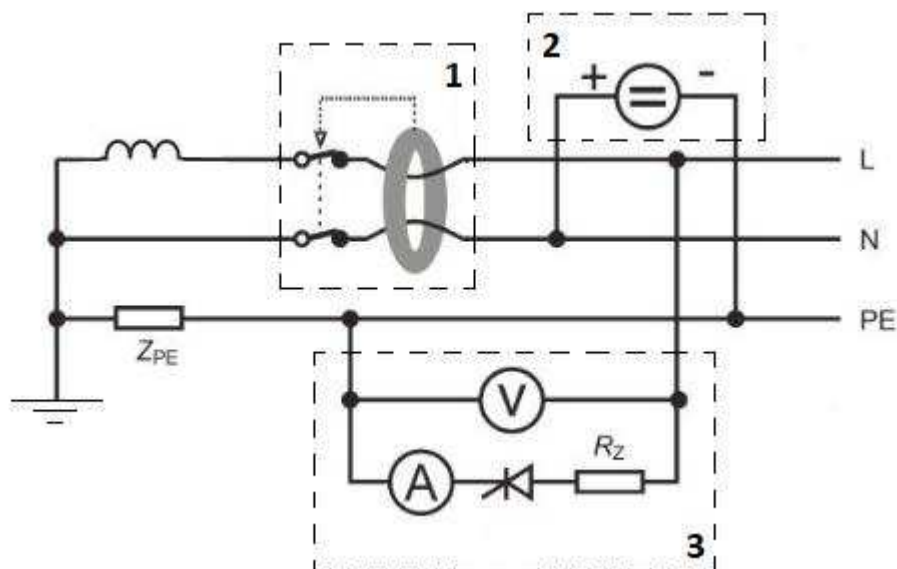
obvodu trvající delší dobu (sada pulzů nebo měření oběma půlvlnami), proudový chránič vždy spolehlivě vybaví. [11]

4.4.3 Blokování chrániče stejnosměrným proudem

Pro měření impedance poruchové smyčky v obvodě s proudovým chráničem se jako nejspolehlivější postup měření ukázalo zablokování chrániče stejnosměrným proudem. [11]

Proudové chrániče používají měřicí transformátory s magnetickým jádrem, pomocí kterých vyhodnocují rozdílové proudy v pracovních vodičích. Poteče-li pracovním vodičem dostatečně velký stejnosměrný proud přes proudový chránič, magnetický obvod měřicího transformátoru se přesytí a proudový chránič následně nedokáže vyhodnotit případný rozdílový proud v pracovních vodičích. Tohoto principu se dá využít pro dočasné zablokování funkce proudového chrániče při měření impedance vypínací smyčky. [11]

Přístroje, sloužící k blokování chráničů, generují stejnosměrný proud, který následně protéká některým pracovním vodičem elektrické instalace a přesytí magnetické obvody všech chráničů, které se v instalaci nacházejí. Blokovací proud však musí narůstat postupně, protože jeho náhlou skokovou změnou by mohlo dojít k vybavení proudového chrániče. Po ustálení stejnosměrného proudu na žádané provozní hodnotě se může změřit impedance poruchové smyčky, protože všechny proudové chrániče v obvodu jsou zablokovány. Poté bude stejnosměrný proud postupně klesat, čímž dojde k obnovení funkce proudových chráničů. [11]



Obr. 4-3 Princip měření impedance při použití blokování chrániče [11]

Legenda k obrázku:

- 1 ... proudový chránič
- 2 ... zdroj blokovacího stejnosměrného proudu
- 3 ... měřicí přístroj

Pro správný průběh procesu blokace chráničů musí být splněny následující podmínky: [11]

1. Stejnoseměrný proud tekoucí pracovním vodičem musí mít dostatečnou velikost, aby zajistil přesycení magnetických obvodů chráničů. Pokud by jeho velikost nebyla dostatečná, nedošlo by k přesycení magnetických obvodů chráničů nebo by jejich syčení nebylo dostatečné, čímž by výrazně vzrostlo riziko vybavení proudových chráničů při následném měření impedance. Z toho vyplývá, že správná funkce blokování je zaručena při dostatečně malém odporu obvodu, kterým teče blokovací proud. [11]

2. Funkce blokovacího proudu může být omezená nebo zcela zrušená také stejnosměrnou proudovou složkou v síti, která pochází z jiného zdroje, a jejíž polarita je opačná, než polarita blokovacího proudu. [11]

3. Proud, kterým se měří impedance vypínací smyčky, musí mít polaritu shodnou se stejnosměrným blokovacím proudem, jinak by rušil jeho účinek na magnetický obvod chrániče, čímž by způsobil jeho vybavení. Z této podmínky je zřejmé, že pro měření impedance lze použít jen takové přístroje, které zatěžují obvod PE proudem stejné polarity, jako přístroje pro blokování chráničů stejnosměrným proudem. Pokud tedy měřicí přístroj používá při měření impedance proud obou

polarit, je blokování proudových chráničů zbytečné, protože přesto dojde k jejich vybavení. [11]

4. Aby došlo k vyřazení činnosti proudového chrániče průtokem stejnosměrného proudu, musí chránič obsahovat magnetický obvod, který může být přesycen. Proto se tímto způsobem nedají blokovat elektronické chrániče pracující na jiném principu, než je vyhodnocování rozdílového proudu v pracovních vodičích měřicím transformátorem. [11]

4.4.4 Měření impedance vypínací smyčky krátkým měřicím pulzem

Měření natolik krátkým proudovým měřicím pulzem, při kterém proudový chránič nestihne zareagovat, je další metodou používanou pro měření impedance vypínací smyčky v obvodech s proudovými chrániči. [11]

Spínací obvod, který je obsažen v měřicím přístroji, připojí do obvodu poruchové smyčky (L - PE) zatěžovací rezistor na dobu několika desítek mikrosekund, čímž vznikne krátký proudový pulz. Pro vyloučení vlivu přechodného děje způsobeného proudovým pulzem v síti a vyloučení možného zkreslení výsledku způsobené rušením v síti, se takto naměřená hodnota impedance musí korigovat předchozím měřením. Toto předchozí měření se provede standartním postupem, tj. velký měřicí proud prochází po delší dobu obvodem složeným z vodičů L a N. [11]

Přístroj se při tomto měření připojí k síti třemi vodiči (L, N, PE), nebo se vykonají dvě po sobě jdoucí měření mezi L a N a následně mezi L a PE. Ovšem některé proudové chrániče, méně odolné proti rušení, dokáže měřicí pulz vybavit. Tato metoda je tedy vhodná pro měření s proudovými chrániči, které mají vybavovací proud 100 mA a vyšší. [11]

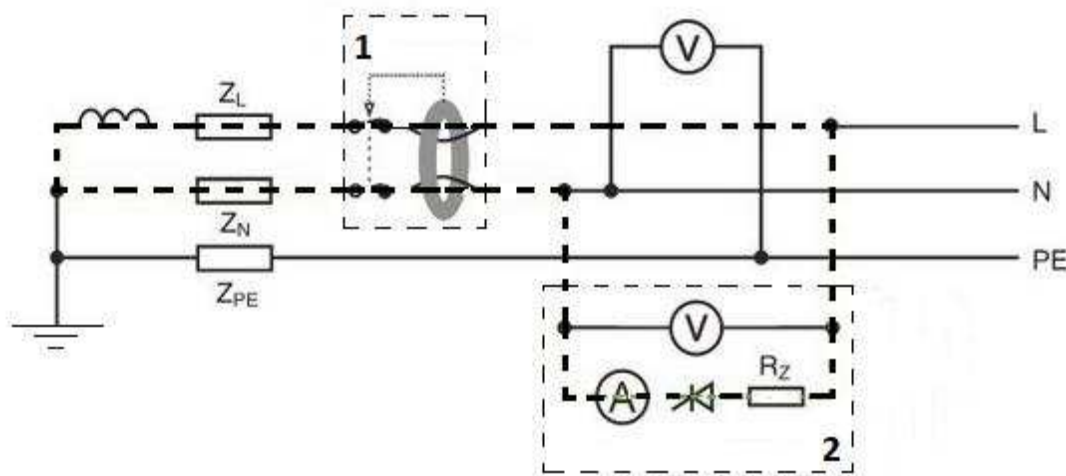
4.4.5 Určení impedance poruchové smyčky výpočtem

z odporů R_{LINE} a R_{N-PE}

Poměrně novou metodou měření impedance vypínací smyčky v obvodech s proudovými chrániči je výpočet tohoto odporu, skládající se ze dvou měření. Metoda je vcelku přesná a spolehlivá, alespoň co se nevybavení chrániče týče. Měřicí přístroj provede výpočet impedance ve třech krocích: [11]

1. Přístroj nejdříve standartním způsobem, tj. proudem tekoucím přes zatěžovací rezistor připojený mezi L a N, změří odpor smyčky, skládající se z vodiče L a N (odpor R_{LINE}). Zároveň při průchodu měřicího proudu $I_{měř}$ změří napětí U_N na odporu R_N . Z těchto dvou měření vypočte přístroj odpor fázového vodiče R_L : [11]

$$R_L = R_{LINE} - \frac{U_N}{I_{měř}} \quad (4.9)$$



Obr. 4-4 Měření pro výpočet odporu fázového vodiče [11]

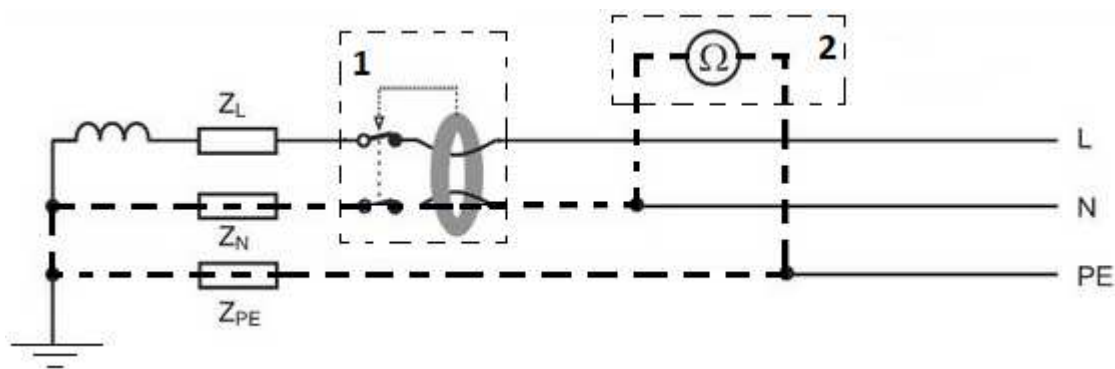
Legenda k obrázku:

1 ... proudový chránič

2 ... měřicí přístroj

2. Dále pomocí vnitřního zdroje proudu, připojeného mezi vodiče N a PE, změří přístroj odpor smyčky složené z R_N a R_{PE} . Od tohoto odporu je odečten odpor R_N zjištěný v předchozím kroku. Tímto se zjistí odpor R_{N-PE} : [11]

$$R_{N-PE} = R_N + R_{PE} - \frac{U_N}{I_{meř}} \quad (4.10)$$



Obr. 4-5 Změření odporu smyčky složené z R_N a R_{PE} [11]

Legenda k obrázku:

1 ... proudový chránič

2 ... měřicí přístroj

3. Součtem odporů R_L a R_{N-PE} je vytvořen odpor, neboli impedance poruchové smyčky: [11]

$$R_{VÝSL} = R_L + R_{N-PE} \quad (4.11)$$

Tento číselný údaj je poté zobrazen na displeji měřicího přístroje jako naměřená hodnota impedance vypínací smyčky. [11]

5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ IMPEDANCE VYPÍNACÍ SMYČKY

Praktické měření impedance vypínací smyčky sestávalo ze dvou částí. První část byla měření impedance vypínací smyčky v běžné domovní instalaci vybraného objektu. Druhá část měření se odehrávala v laboratoři firmy Illko, s.r.o. sídlící v Blansku, kde se měřilo pomocí kalibrátoru.

5.1 Měření impedance ve vybraném objektu

Tato část měření probíhala v běžné domovní elektroinstalaci. Pro tuto část praktického měření impedance vypínací smyčky jsem si vybral objekt rekreační chaty nacházející se v blízkosti Vranovské přehrady v Jihomoravském kraji. Objekt prochází celkovou rekonstrukcí, a to včetně elektrických rozvodů, avšak ty jsou již hotové.

5.1.1 Popis objektu

Objekt rekreační chaty, kde bylo provedeno měření, viz Obr. 5-1, má půdorys obdélníka s rozměry 6 x 6,5 metru. Celkově má objekt tři patra, a to podkroví, přízemí a sklep. Postupně budou všechna patra detailně popsány.



Obr. 5-1 Měřený objekt rekreační chaty

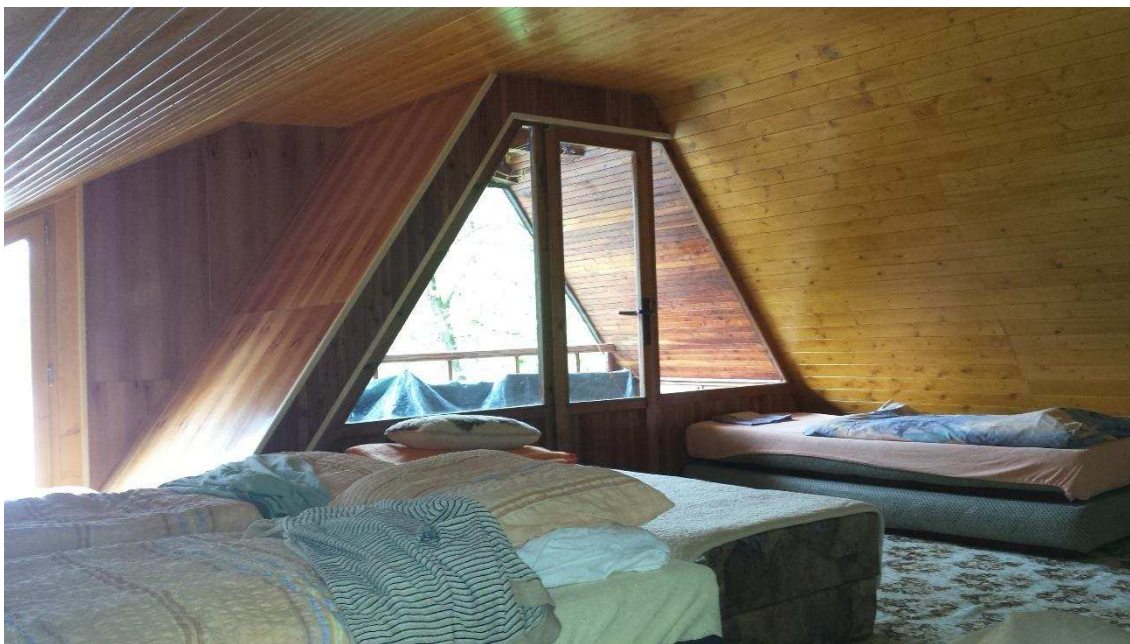
5.1.1.1 Elektrická instalace obecně

Elektrické rozvody objektu jsou jednofázové, provedeny kabely CYKY, kdy zásuvkové rozvody jsou vedeny průřezem kabelu $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$, světelné okruhy průřezem kabelu $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$. Jištění vedení je provedeno jističi typu B, pro zásuvkové okruhy 16 A, pro světelné okruhy 10 A.

5.1.1.2 Podkroví

Podkroví je tvořeno zvýšenou sedlovou střechou, která má kostru z dřevěných trámů, na kterých je zvenčí paropropustná izolace. Ta je pobita prkny, na kterých je poté plechová krytina. Zevnitř jsou trámy obloženy parotěsnou izolací a pobity palubkami. Mezi oběma vrstvami izolace je minerální skelná vata kvůli tepelné izolaci.

Stěny podkroví jsou stejně jako střecha dřevěné, zevnitř pobité palubkami, zvenčí prkny. Ani zde nechybí obě vrstvy izolace a minerální vata. Patro je tvořeno jednou velkou místností a balkónem, viz Obr. 5-2.



Obr. 5-2 Podkroví

Elektrické rozvody, nacházející se v tomto patře, jsou vedeny v ohebných plastových trubkách, tzv. husích krcích. Kabely jsou vedeny uvnitř stěny mezi vrstvou parotěsné izolace a minerální vaty. V tomto patře se nacházejí jen zásuvky 230 V, celkem je jich tu osm, z toho je jedna dvojité. V Příloze 1 je vidět rozmístění

jednotlivých zásuvek. Přívod k zásuvkám vede ze sklepa. Zásuvky jsou zde ve dvou okruzích, přičemž jeden okruh obsahuje čtyři zásuvky, druhý okruh zbylé čtyři, přičemž jedna je dvojitá. V tomto patře se nenacházejí žádné světelné okruhy.

5.1.1.3 Přízemí

Stěny přízemí jsou konstrukčně řešeny obdobně jako stěny podkroví. Kostra je tvořena z dřevěných trámů, na kterých je zvenčí paropropustná izolace pobitá prkny, zevnitř je na trámech parotěsná izolace pobitá palubkami. Strop přízemí je tvořen trámy, na kterých jsou OSB desky, tvořící podlahu podkroví. Podlaha přízemí je tvořena traverzami tvaru I, na kterých jsou opět OSB desky. Přízemí je rozděleno na dvě části, tj. část předsíně a druhou část tvoří kuchyň s obývacím pokojem.

Z hlediska elektrické instalace je toto patro poněkud složitěji řešeno než podkroví. Veškeré kabely jsou vedeny opět tzv. husími krky. V tomto patře se nachází několik zásuvkových okruhů 230 V a několik světelných okruhů.

Zásuvkový okruh předsíně tvoří pět zásuvek 230 V, které jsou spojeny do jednoho okruhu s jedním ze zásuvkových okruhů podkroví. Přívod k tomuto okruhu je opět veden ze sklepa. Dále se v předsíni nachází čtyři paralelní větve LED osvětlení, které má společný transformátor umístěný ve stěně, přívod k němu je opět veden ze sklepa. Jako poslední je v předsíni umístěno jedno obyčejné svítidlo s vypínačem, které má společný přívod s dalšími třemi svítidly umístěnými v druhé místnosti přízemí.



Obr. 5-3 Předsíň

Ostatní dvě svítidla jsou umístěna v kuchyni a jedno v obývací části. V této části přízemí se dále nachází jedna samostatná zásuvka 230 V pro napájení lednice a jedna samostatná dvojité zásuvka 230 V sloužící k napájení sporáku. V části kuchyně je dále umístěn zásuvkový okruh čítající dvě dvojité zásuvky 230 V, které slouží pro napájení mikrovlnné trouby, rychlovarné konvice, atd.



Obr. 5-4 Kuchyň

V části obývacího pokoje je další zásuvkový okruh obsahující čtyři zásuvky 230 V uvnitř objektu a jednu zásuvku 230 V umístěnou vně objektu, sloužící pro napájení případných zařízení nacházejících se na terase.



Obr. 5-5 Obývací pokoj – 1. pohled



Obr. 5-6 Obývací pokoj – 2. pohled

Ovšem v této části objektu se dále nachází venkovní osvětlení a s ním spojené vypínače. Venkovní osvětlení se skládá ze tří okruhů, přičemž dva okruhy jsou po dvou svítidlech a jeden okruh obsahuje jedno svítidlo. Napájení do všech třech okruhů je vedeno ze sklepa, vypínače ke dvěma okruhům po dvou svítidlech jsou umístěny vedle vstupních dveří v předsíni, vypínač samostatného svítidla se nachází přímo u něj. V Příloze 2 lze opět vidět přesné rozmístění jak zásuvek, tak svítidel a příslušných vypínačů.

5.1.1.4 Sklep

Jelikož je objekt rekreační chaty umístěn ve svahu, je přední část sklepa viditelná zvenčí, zatímco zadní část je zapuštěna ve svahu. Z tohoto důvodu a z důvodu toho, že sklep tvoří základy objektu, je tento prostor zděný. Původní základy byly kamenné, spojeny betonem, při rekonstrukci se uvnitř sklepa přistavěly stěny ze ztraceného bednění pro zpevnění základů. Strop sklepa je, jak je psáno výše, tvořen traverzami tvaru I, na kterých jsou OSB desky tvořící podlahu přízemí. Ovšem mezi traverzami jsou taktéž OSB desky, takže strop sklepa je v podstatě rovný. Mezi oběma vrstvami OSB desek je minerální vata, která slouží jako tepelná izolace.

Co se týče elektrické instalace sklepa, je velice jednoduchá. Obsahuje jen jednu samostatnou zásuvku 230 V a dvě svítidla spojena do jednoho okruhu a se společným vypínačem umístěným vedle vstupních dveří sklepa. Veškeré kabely ve sklepe jsou vedeny viditelně v úchytkách přidělaných na strop, aby se vyhnulo zasekávání do ztraceného bednění.



Obr. 5-7 Podružný rozvaděč

Ve sklepě se však nachází podružný rozvaděč, viz Obr. 5-7, který tvoří základ celé zrekonstruované elektroinstalace, kdy je z něj vedeno napájení do všech elektrických okruhů objektu. Přívod do tohoto podružného rozvaděče je veden zvenčí přes pojistkovou skříň z elektroměru. Do elektroměru je elektrická energie dovedena smyčkou hlavního domovního vedení (HDV), která tvoří odbočku z hlavní napájecí sítě celé oblasti. V Příloze 3 lze vidět přesné rozmístění jak sklepní zásuvky, tak dvou svítidel a příslušného vypínače. Dále je v Příloze 3 vidět umístění podružného rozvaděče a elektroměru a jejich vzájemného propojení. Přívod do elektroměru je v dokumentaci naznačen orientačně. Vnitřní zapojení podružného rozvaděče je v Příloze 4 rozkresleno samostatně pro lepší přehlednost a orientaci.



Obr. 5-8 Umístění elektroměru a hlavního jističe

5.1.2 Praktické měření

Impedance vypínací smyčky byla v objektu rekreační chaty měřena 2 různými měřicími přístroji. To bylo proto, aby se dalo porovnat, který měřicí přístroj je přesnější a jak závisí velikost naměřené hodnoty na přesnosti přístroje. Jeden přístroj byl zapůjčen ze školní laboratoře, druhý přístroj byl zapůjčen od firmy Illko, s.r.o., Blansko.

5.1.2.1 Měřicí přístroje

EASYTEST MA 2064 (značka Metrel), výrobní číslo: 8000007430

Přístroj EASYTEST je přenosný multifunkční měřicí přístroj určený pro provádění revizí v sítích 230 V. Díky své konstrukci ho lze provozovat položený na stole, držený v ruce, nebo zavěšený na krku pomocí řemene. Pomocí tohoto přístroje lze provádět velké množství měření, např. měření izolačních odporů, přechodových odporů, dotykového napětí, impedance vypínací smyčky, atd. Výhodou přístroje je transportní brašna běžně dodávaná s přístrojem, do které se vejde veškeré příslušenství přístroje včetně přístroje samotného. Vizuální podoba přístroje viz Obr. 5-9. [13]



Obr. 5-9 Přístroj EASYTEST MA 2064

Vybrané technické parametry přístroje:

- rozsah měření impedance: 0 – 1999 Ω
- jmenovité síťové napětí: 100 – 250 V
- jmenovitá frekvence sítě: 45 – 65 Hz
- přesnost měření: $\pm (4\% \text{ z MH} + 0,05 \Omega)$ [13]

Postup měření:

1. Pro měření impedance se použije kabel se třemi konektory na jednom konci a se síťovou zástrčkou na straně druhé. Tři konektory se zapojí do zdírek na boku přístroje přesně podle barev (zelený konektor do zelené zdírky, atd.).
2. Síťová zástrčka na druhém konci kabelu se zapojí do měřené zásuvky.
3. Přístroj se zapne stisknutím tlačítka ON/OFF.
4. Přepnutím otočného přepínače do polohy R_s/I_K se zobrazí velikost napětí mezi L a PE.
5. Stiskem tlačítka START se provede měření impedance.
6. Stiskem tlačítka DISPLAY přístroj vypočte a zobrazí velikost zkratového proudu I_K .
7. Opakovaným stiskem tlačítka DISPLAY se přepíná mezi naměřenou hodnotou impedance a vypočtenou hodnotou zkratového proudu.

ZEROTESTpro, výrobní číslo: 06

Přístroj je určený k měření impedance poruchové smyčky při ověřování funkčnosti ochrany samočinným odpojením od zdroje. Je to jednoúčelový měřicí přístroj užívaný při revizích. Přístroj je relativně malý, kompaktní, snadno ovladatelný, s originálním designem a s unikátním uložením měřících hrotů při přepravě, viz Obr. 5-10. [12]



Obr. 5-10 Přístroj ZEROTESTpro

Přístroj umožňuje měřit impedanci vypínací smyčky ve dvou režimech. U obvodů jištěných pouze pojistkami a jističi se užívá režim měření pomocí několika půlvln síťového napětí. Obvody, kde se nachází proudové chrániče, měří přístroj velmi krátkými proudovými pulzy, které nezpůsobí vybavení chrániče. Mimo těchto měření se přístrojem měří také napětí, nebo ho lze využít jako fázovou zkoušečku. [12]

Přístroj navíc umožňuje zvolit si typ jištění, který je použit v měřeném obvodu, a na základě této volby z naměřených hodnot sám vyhodnotí, jestli je zvolené jištění v pořádku, tj. je vhodně zvoleno. Dalšími doplňkovými funkcemi jsou zobrazení vypočteného zkratového proudu odpovídajícího naměřené impedanci, zobrazení vypočteného 1,5 násobku naměřené hodnoty impedance, a zobrazení vypočtené maximální hodnoty impedance s uvažováním chyby měření. [12]

Vybrané technické parametry přístroje:

- rozsah měření impedance: 0,1 – 200 Ω
- jmenovitý rozsah dle ČSN EN 61557: 0,27 – 200 Ω
- přesnost měření: $\pm (4\% \text{ z MH} + 7 \text{ digitů})$ [12]

Postup měření:

1. Podržení tlačítka START a RCD současně dojde k zapnutí přístroje.
2. Šipkou nahoru nebo dolů se vybere režim měření.
3. Hroty se zasunou do zdírek zásuvky.
4. Dojde ke změření síťového napětí.
5. Stiskem tlačítka START se provede měření impedance.
6. Šipkami nahoru nebo dolů se zobrazují různé hodnoty, viz popis přístroje.
7. Dvojitým stiskem tlačítka START se přístroj vypne.

5.1.2.2 Modelování a popis měřených obvodů

Měřením se určila hodnota impedance v aktuálním stavu elektroinstalace, tj. bez jakéhokoli předchozího zásahu. Jelikož rekreační objekt prochází rekonstrukcí a elektroinstalace je již hotová, dalo se předpokládat, že kontakty v zásuvkách jsou kvalitně dotažené a neměla by být naměřena žádná anomálie. U elektroinstalace už byla dokonce provedena revize, čímž pádem současný stav elektroinstalace je již konečný. Měření bylo provedeno ve všech obvodech, viz Přílohy 1 - 3.

5.1.3 Výsledky měření

Hodnoty naměřené přístrojem ZEROTESTpro v jednotlivých zásuvkových obvodech jsou v Tabulce 4.

ZEROTESTpro					
	Naměřené hodnoty přístrojem			Vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky	
	Z	U	I _k	Z _{chyba}	Z _{1,5}
Zásuvka	[Ω]	[V]	[A]	[Ω]	[Ω]
X 1.1	1,63	236,5	94	1,63 ± 0,14	2,45 ± 0,21
X 1.2	1,18	235,7	129	1,18 ± 0,12	1,77 ± 0,18
X 1.3	1,29	236,1	119	1,29 ± 0,12	1,94 ± 0,18
X 1.4	1,34	236,2	114	1,34 ± 0,12	2,01 ± 0,18
X 1.5	1,84	238,0	83,3	1,84 ± 0,14	2,76 ± 0,21
X 1.6	1,53	238,2	100	1,53 ± 0,13	2,30 ± 0,20
X 1.7	1,53	237,7	100	1,53 ± 0,13	2,30 ± 0,20
X 1.8	1,61	238,8	95	1,61 ± 0,13	2,42 ± 0,20
X 1.9	1,45	238,3	106	1,45 ± 0,13	2,18 ± 0,20
X 2.2	1,62	237,8	95	1,62 ± 0,14	2,43 ± 0,21
X 2.3	1,57	236,9	97	1,57 ± 0,13	2,36 ± 0,21
X 2.4	1,62	238,7	95	1,62 ± 0,14	2,43 ± 0,21
X 3.0	1,30	237,7	118	1,30 ± 0,12	1,95 ± 0,18
X 4.1	1,41	239,9	109	1,41 ± 0,13	2,12 ± 0,20
X 4.2	1,45	239,6	106	1,45 ± 0,13	2,18 ± 0,20
X 6.3	1,45	238,6	106	1,45 ± 0,13	2,18 ± 0,20
X 6.4	1,46	237,5	105	1,46 ± 0,13	2,19 ± 0,20
X 6.5	1,44	239,3	107	1,44 ± 0,13	2,16 ± 0,20
X 7.0	1,28	238,0	120	1,28 ± 0,12	1,92 ± 0,18

Tabulka 4: Naměřené hodnoty v měřeném objektu přístrojem ZEROTESTpro a vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky se zohledněním chyby přístroje

Naměřené hodnoty viz Tabulka 4 nebyly konečné, musely se vypočíst chyby měření. Postupně se hodnoty impedance vypínací smyčky s ohledem na chyby měření vypočetly u všech měřených zásuvek. Výpočty jsou uvedeny pro první řádek tabulky, ostatní se počítají vždy stejně:

$$\text{Naměřená hodnota impedance vypínací smyčky } Z = 1,63 \, \Omega$$

$$\text{Chyba měřicího přístroje} = \pm (4 \% \text{ z MH} + 7 \text{ digitů}) = 0,07 + 0,07 = 0,14 \, \Omega$$

$$\text{Naměřená impedance s ohledem na chybu měření } Z_{\text{chyba}} = 1,63 \pm 0,14 \, \Omega$$

Tato velikost impedance vypínací smyčky stále nebyla ještě konečná, musela se zvýšit o bezpečnostní koeficient:

$$\text{Impedance vynásobená bezpečnostním koeficientem} = 1,63 \cdot 1,5 = 2,45 \, \Omega$$

$$\text{Chyba vynásobená bezpečnostním koeficientem} = 0,14 \cdot 1,5 = 0,21 \, \Omega$$

$$\text{Konečná hodnota impedance vypínací smyčky } Z_{1,5} = 2,45 \pm 0,21 \, \Omega$$

Hodnoty naměřené přístrojem EASYTEST MA 2064 v jednotlivých zásuvkových obvodech jsou v Tabulce 5.

EASYTEST MA 2064					
	Naměřené hodnoty přístrojem			Vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky	
	Z	U	I _k	Z _{chyba}	Z _{1,5}
Zásuvka	[Ω]	[V]	[A]	[Ω]	[Ω]
X 1.1	1,57	236	146,4	1,57 ± 0,11	2,36 ± 0,17
X 1.2	1,53	236	150,3	1,53 ± 0,11	2,30 ± 0,17
X 1.3	1,48	236	155,4	1,48 ± 0,11	2,22 ± 0,17
X 1.4	1,50	236	153,3	1,50 ± 0,11	2,25 ± 0,17
X 1.5	1,48	238	155,4	1,48 ± 0,11	2,22 ± 0,17
X 1.6	1,50	237	153,3	1,50 ± 0,11	2,25 ± 0,17
X 1.7	1,45	235	158,6	1,45 ± 0,11	2,18 ± 0,17
X 1.8	1,39	235	165,4	1,39 ± 0,11	2,09 ± 0,17
X 1.9	1,36	234	169,1	1,36 ± 0,10	2,04 ± 0,15
X 2.2	1,55	238	148,3	1,55 ± 0,11	2,33 ± 0,17
X 2.3	1,50	238	153,3	1,50 ± 0,11	2,25 ± 0,17
X 2.4	1,43	237	160,8	1,43 ± 0,11	2,15 ± 0,17
X 3.0	1,31	238	175,5	1,31 ± 0,10	1,97 ± 0,15
X 4.1	1,34	238	171,6	1,34 ± 0,10	2,01 ± 0,15
X 4.2	1,40	237	164,2	1,40 ± 0,11	2,10 ± 0,17
X 6.3	1,33	236	172,9	1,33 ± 0,10	2,00 ± 0,15
X 6.4	1,39	235	165,4	1,39 ± 0,11	2,09 ± 0,17
X 6.5	1,33	235	172,9	1,33 ± 0,10	2,00 ± 0,15
X 7.0	1,39	236	165,4	1,39 ± 0,11	2,09 ± 0,17

Tabulka 5: Naměřené hodnoty v měřeném objektu přístrojem EASYTEST MA 2064 a vypočtené hodnoty impedance vypínací smyčky se zohledněním chyby přístroje

Naměřené hodnoty viz Tabulka 5 opět nebyly konečné, musely se znovu vypočíst chyby měření, tentokrát pro druhý měřicí přístroj. Postup výpočtu chyb byl stejný jako u prvního přístroje. Výpočty jsou zase uvedeny jen pro první řádek tabulky, ostatní se počítají vždy stejně:

Naměřená hodnota impedance vypínací smyčky $Z = 1,57 \, \Omega$

Chyba měřicího přístroje $= \pm (4 \% \text{ z MH} + 0,05 \, \Omega) = 0,06 + 0,05 = 0,11 \, \Omega$

Impedance smyčky s ohledem na chybu měření $Z_{\text{chyba}} = 1,57 \pm 0,11 \, \Omega$

Tato velikost impedance vypínací smyčky stále nebyla ještě konečná, musela se zvýšit o bezpečnostní koeficient:

Impedance vynásobená bezpečnostním koeficientem $= 1,57 \cdot 1,5 = 2,36 \, \Omega$

Chyba vynásobená bezpečnostním koeficientem $= 0,11 \cdot 1,5 = 0,17 \, \Omega$

Konečná hodnota impedance vypínací smyčky $Z_{1,5} = 2,36 \pm 0,17 \, \Omega$

Po dokončení tohoto měření se do obvodu tvořeného zásuvkami X 4.1 a X 4.2 připojil spotřebič, konkrétně rychlovarná konvice o příkonu 1,5 kW. Při následném měření hodnot v zásuvce X 4.2 se zjistilo, že při používání spotřebiče došlo k poklesu napětí o 10 V a k nárůstu impedance o 0,2 Ω oproti stavu bez spotřebiče.

5.2 Měření impedance v laboratoři firmy Illko, s.r.o.

Druhá část měření byla provedena ve spolupráci s firmou Illko, s.r.o. se sídlem v Blansku, kde bylo společně s vyškoleným pracovníkem provedeno měření na kalibračním zařízení této firmy. Měření bylo provedeno třemi přístroji zapůjčenými od téže firmy. Těmito přístroji byly ZERO LINE 60, ZERO TEST pro a EurotestXC MI 3152. Co se týče rozsahu tohoto měření, bylo zvoleno jen demonstrativní měření malých hodnot impedance, které se v běžné domovní instalaci nevyskytují, navíc byla změřena hodnota impedance, která se v běžné elektroinstalaci vyskytuje.

5.2.1 Měřicí přístroje a naměřené hodnoty impedance

Kalibrátor Dick 2008-230, v. č. 08-01

Přístroj sloužící pro kalibraci nově vyrobených nebo kontrolovaných, případně opravovaných měřicích přístrojů. Tento přístroj je vlastním výrobkem firmy Illko, s.r.o., existují jen dva kusy.

Oproti podobným přístrojům své kategorie je relativně malý, avšak přesto je univerzální a velice přesný. Každé dva roky prochází kalibrací v Českém metrologickém institutu. Poslední kalibrace byla provedena 8. dubna 2019, tedy asi týden před tímto měřením. Nejnižší dosažitelná hodnota impedance smyčky byla stanovena na $0,081 \Omega$.

Přístroj je napájen síťovým napětím pomocí kabelu. Na výstupu kalibrátoru je přesně nastavena hodnota požadované impedance vypínací smyčky. Připojení měřicích přístrojů ke kalibrátoru je možno šesti zdírkami na vodiče (dvě zdířky pro fázi L, dvě pro nulový vodič N a dvě pro ochranný vodič PE), nebo dvěma síťovými zásuvkami 230 V. Ovládání kalibrátoru je velice jednoduché, kdy červený přepínač slouží k zapnutí přístroje a zelenými přepínači se mění hodnota výstupní impedance. Ovládací panel kalibrátoru je na Obr. 5-11.



Obr. 5-11 Přední ovládací panel kalibrátoru DICK 2008-230

ZEROTESTpro, výrobní číslo: 06

Přístroj je stejný, jaký byl použit v první části měření, tj. v běžné domovní instalaci v měřeném objektu. Popis tohoto přístroje byl tedy popsán výše.

Měření v laboratoři firmy Illko, s.r.o. bylo provedeno obdobně jako ve výše zmíněné domovní elektroinstalaci, ale měřilo se na výstupních zdírkách kalibrátoru, nikoliv v síťové zásuvce, viz Obr. 5-12.



Obr. 5-12 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje ZEROTESTpro

Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky jsou v Tabulce 6.

Hodnota impedance nastavená na kalibrátoru	Hodnota impedance naměřená přístrojem ZEROTESTpro se zohledněním chyby přístroje
0,081 Ω	0,090 \pm 0,074 Ω
1,072 Ω	1,06 \pm 0,11 Ω

Tabulka 6: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky pomocí přístroje ZEROTESTpro a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření

Jak lze vidět z Tabulky 6, přístroj je relativně přesný na vyšších hodnotách impedance, chyba měření je cca 10 % měřené hodnoty. Ovšem při měření malých hodnot impedancí je výsledná hodnota opět relativně přesná k té skutečné, ale chyba měření může být až 80 %, což je způsobeno tím, že se měří mimo jmenovitý rozsah. Postup výpočtu chyby měření je stejný jako v první části měření v této práci. Z toho vyplývá, že při pouhém porovnání naměřené hodnoty impedance a hodnoty impedance nastavené kalibrátorem lze tvrdit, že přístroj měří relativně přesně i na malých hodnotách impedance. Avšak při započtení chyby měření je potřeba být opatrný při vyhodnocování měření.

Tento přístroj je tedy vhodný pro měření např. v běžné domovní instalaci, ale pro měření malých hodnot impedancí v technickém provozu je výsledek spíše orientační. Lepší je použít přesnější měřicí přístroj.

EurotestXC MI 3152 (značka: METREL)

Multifunkční měřicí přístroj využívaný pro provádění revizí elektrických instalací. Přístroj je relativně malý, přenosný, má v sobě instalováno mnoho měřicích funkcí, např. měření izolačních odporů, měření spojitosti, měření zemních odporů, lze s ním měřit impedanci vypínací smyčky v obvodech jištěných proudovým chráničem. Obsahuje rozsáhlou knihovnu jistících prvků, takže zvládne vyhodnotit pomocí naměřené hodnoty, zda je správné provedení jištění daného obvodu. Ovládání přístroje je tlačítky a pomocí velkého barevného dotykového displeje. [14]

Vybrané technické parametry přístroje:

- rozsah měření impedance: 0 - 9999 Ω
- jmenovité napětí: 93 - 266 V
- jmenovitá frekvence: 45 - 65 Hz
- přesnost měření: $\pm (5\% \text{ z MH} + 5 \text{ digitů})$ [14]

Postup měření:

1. Přístroj se připojí síťovou zástrčkou do síťové zásuvky kalibrátoru.
2. Přístroj se zapne stiskem červeného tlačítka vpravo dole vedle displeje.
3. Na dotykové obrazovce se zvolí měření impedance smyčky $Z_{\text{smyčky}}$.

4. Stiskem prostředního tlačítka mezi šipkami vlevo vedle displeje se spustí měření impedance.
5. Po chvíli je naměřena hodnota impedance, síťového napětí, atd.

Zapojení měřicího pracoviště s použitím tohoto měřicího přístroje je vidět na Obr. 5-13.



Obr. 5-13 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje EurotestXC MI 3152

Pro měření byly vybrány stejné hodnoty jako u přístroje ZEROTESTpro, aby se dala porovnat přesnost obou přístrojů. Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky jsou v Tabulce 7.

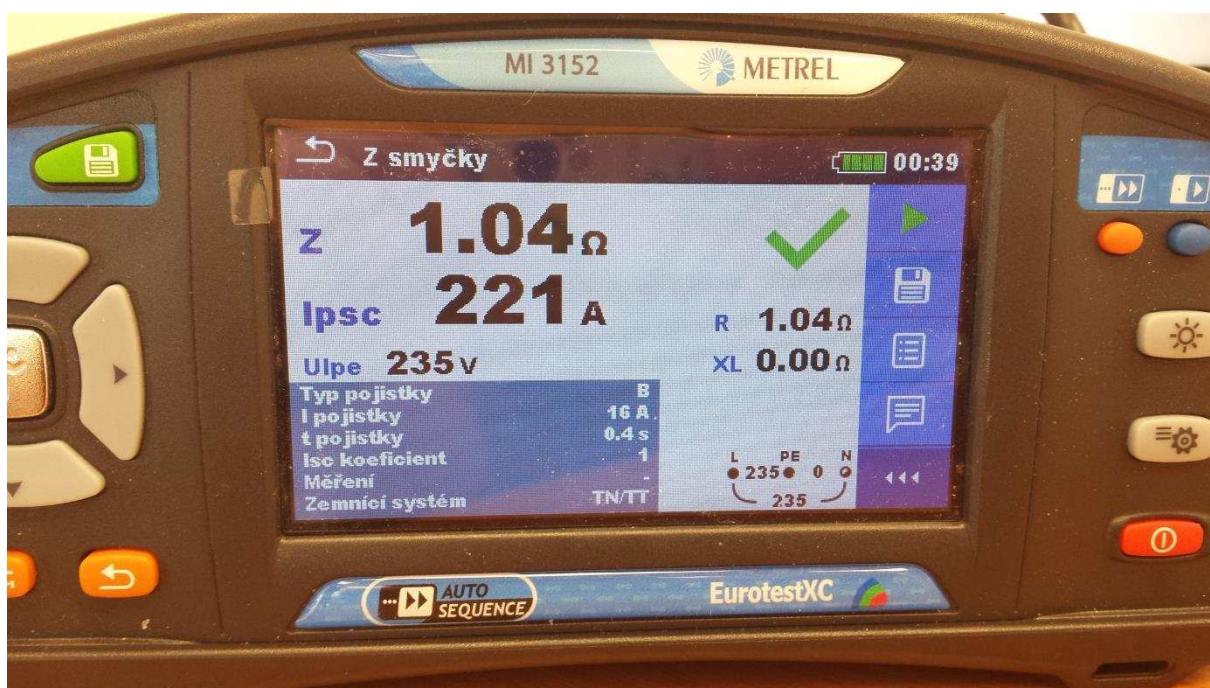
Hodnota impedance nastavená na kalibrátoru	Hodnota impedance naměřená přístrojem EurotestXC MI 3152 se zohledněním chyby měření
0,081 Ω	0,030 \pm 0,052 Ω
1,072 Ω	1,04 \pm 0,10 Ω

Tabulka 7: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem EurotestXC MI 3152 a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření

Z naměřených hodnot v Tabulce 7 je zcela evidentní, že přístroj EurotestXC MI 3152 je prakticky nepoužitelný pro měření malých hodnot impedance. Rozdíl v nastavené hodnotě na kalibrátoru a naměřené hodnotě přístrojem je velký, po započtení chyby měření v podstatě nelze určit správná hodnota, protože chyba měření je přes 100 %.

Naproti tomu měření větších hodnot impedance je vcelku přesné, chyba měření je zhruba do 10 %, takže přesnost při měření větších hodnot impedance je srovnatelná s přístrojem ZEROTESTpro. Přístroj EurotestXC MI 3152 má sice větší a lépe čitelný displej než přístroj ZEROTESTpro, ovšem oba dva přístroje měří stejné množství hodnot, přičemž přístroj ZEROTESTpro je menší a kompaktnější.

Na Obr. 5-14 je vidět detail displeje přístroje EurotestXC MI 3152 s naměřenou hodnotou impedance 1,04 Ω .



Obr. 5-14 Detail displeje přístroje EurotestXC MI 3152

ZEROLINE 60, výrobní číslo: 1228

Měřicí přístroj řízený mikropočítačem, určený pro přesné měření impedance vypínací smyčky v sítích TT a TN. Výhodou tohoto přístroje je čtyřvodičové připojení do měřeného obvodu, čímž se eliminují přechodové odpory na připojovacím místě.

Přístroj dovoluje zvolit dva režimy měření. První režim je tzv. rychlé měření, kdy je nižší přesnost měření, ale měření je velmi rychlé, měření je provedeno proudem 10 A. Druhý režim měření je o něco pomalejší, ale přesnější, přičemž přístroj umožňuje nastavit buď kladnou nebo zápornou půlvlnu měřicího proudu a hodnotu měřicího proudu ve třech stupních, a to 10 A, 20 A nebo 30 A. Toto je velice užitečné pro zvětšení přesnosti měření, kdy platí, že čím větší měřicí proud se použije, tím by měření mělo být přesnější. Ovšem čím větší je proud, tím více se vyvine tepla a přístroj se zahřívá. Další funkcí přístroje je možnost provedení výpočtů z naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky. Vypočten může být zkratový proud, hodnota impedance zvětšená o bezpečnostní koeficient 1,5 a maximální hodnota impedance při započítání chyby měření. [15]

Vybrané technické parametry přístroje (režim rychlého měření):

- rozsah měření impedance: 0 - 20 Ω
- jmenovitý rozsah dle ČSN EN 61557: 0,2 - 20 Ω
- rozlišovací schopnost: 0,01 Ω
- přesnost měření: \pm (4% z MH + 5 digitů)
- měřicí proud: 10 A (při 230 V / 50 Hz) [15]

Vybrané technické parametry přístroje (kladné/záporné půlvlny, proud 10 A):

- rozsah měření impedance: 0 - 5 Ω
- jmenovitý rozsah dle ČSN EN 61557: 0,06 - 5 Ω
- rozlišovací schopnost: 0,001 Ω
- přesnost měření: \pm (4% z MH + 15 digitů)
- měřicí proud: 10 A (při 230 V / 50 Hz) [15]

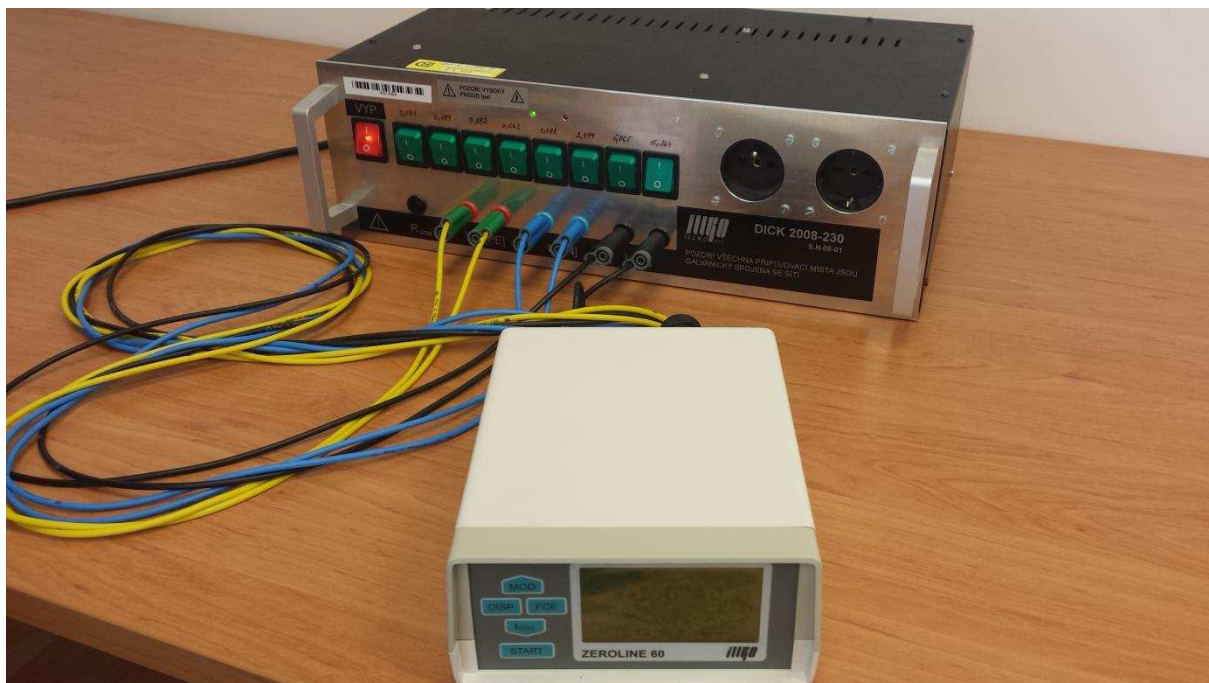
Vybrané technické parametry přístroje (kladné/záporné půlvlny, proud 30 A):

- rozsah měření impedance: 0 - 1,5 Ω
- jmenovitý rozsah dle ČSN EN 61557: 0,038 - 1,5 Ω
- rozlišovací schopnost: 0,001 Ω
- přesnost měření: \pm (3% z MH + 10 digitů)
- měřicí proud: 10 A (při 230 V / 50 Hz) [15]

Postup měření:

1. Měřicí kabel s jednou společnou koncovkou na jednom konci a šesti vodiči na druhé straně se připojí k přístroji ZEROLINE 60, a to jednou společnou koncovkou.
2. Druhá strana měřicího kabelu se šesti vodiči se připojí na kalibrátor, přičemž dva vodiče k fázi, dva k nulovému vodiči a dva k ochrannému vodiči.
3. Přístroj ZEROLINE 60 se zapne připojením do kalibrátoru.
4. Pomocí tlačítek vedle displeje se nastaví měřicí mód, měřicí proud, případně zobrazení displeje.
5. Stiskem tlačítka START se provede měření impedance.
6. Po skončení měření se zobrazí naměřené hodnoty na displeji.
7. Opakovaným stiskem tlačítka DISP lze přepínat mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami.

Celé zapojení měřicího pracoviště s použitím tohoto měřicího přístroje je vidět na Obr. 5-15.



Obr. 5-15 Zapojení měřicího stanoviště s využitím přístroje ZEROLINE 60

Pro měření byly vybrány stejné hodnoty jako u dvou předchozích přístrojů, aby se mohla porovnat přesnost přístrojů. Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky při měření v rychlém režimu měření jsou v Tabulce 8.

Hodnota impedance nastavená na kalibrátoru	Hodnota impedance naměřená přístrojem ZEROLINE 60 se zohledněním chyby měření
0,081 Ω	0,09 \pm 0,054 Ω
1,072 Ω	1,08 \pm 0,093 Ω

Tabulka 8: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu rychlého měření a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření

V Tabulce 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky při měření v režimu kladných půlvln měřicího proudu o velikosti 10 A.

Hodnota impedance nastavená na kalibrátoru	Hodnota impedance naměřená přístrojem ZEROLINE 60 se zohledněním chyby měření
0,081 Ω	0,082 \pm 0,018 Ω
1,072 Ω	1,076 \pm 0,058 Ω

Tabulka 9: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu měření kladnými půlvlnami měřicím proudem 10 A a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření

Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky při měření v režimu kladných půlvln měřicího proudu o velikosti 30 A jsou v Tabulce 10.

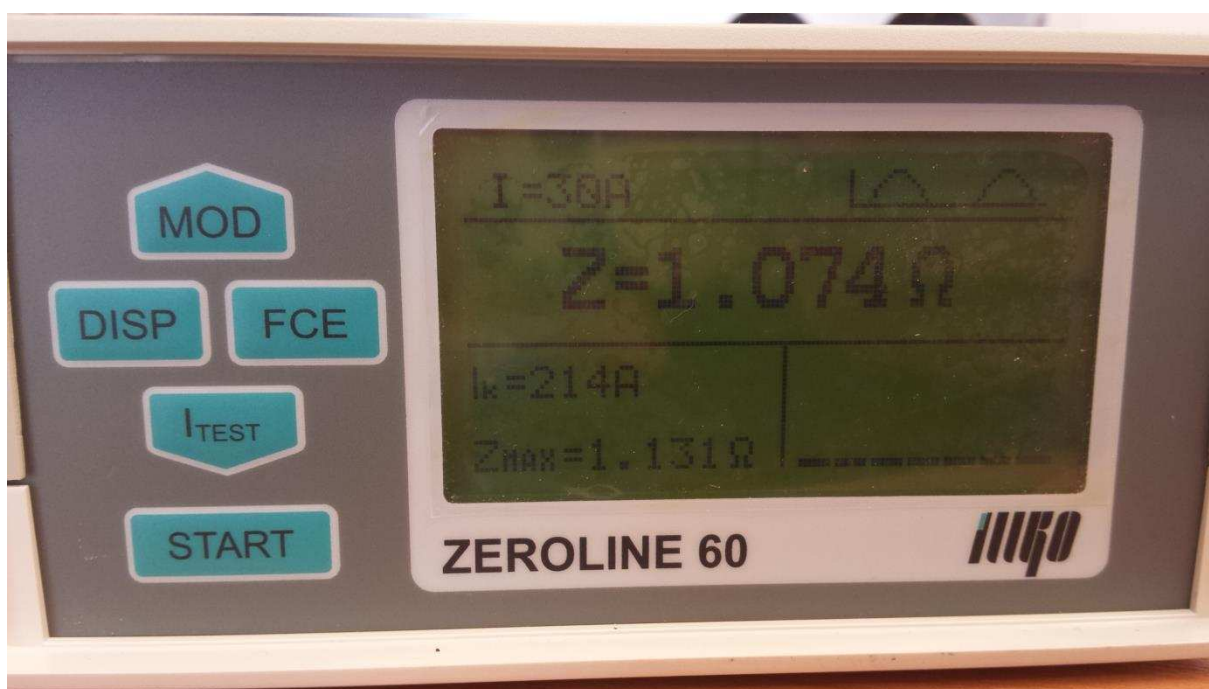
Hodnota impedance nastavená na kalibrátoru	Hodnota impedance naměřená přístrojem ZEROLINE 60 se zohledněním chyby měření
0,081 Ω	0,084 \pm 0,013 Ω
1,072 Ω	1,074 \pm 0,042 Ω

Tabulka 10: Naměřené hodnoty impedance vypínací smyčky přístrojem ZEROLINE 60 v režimu měření kladnými půlvlnami měřicím proudem 30 A a vypočtené hodnoty impedance se zohledněním chyb měření

Z hlediska porovnání jednotlivých režimů měření přístroje ZERO LINE 60 lze vidět, že režim rychlého měření je dle předpokladů nejméně přesný, chyba měření u malé hodnoty je 60 %, u větší hodnoty impedance asi 9 %, avšak měření bylo nejrychlejší. Pokud tedy stačí méně přesná hodnota, ale je potřeba rychle, stačí použít režim rychlého měření. Avšak pořád se dá říci, že tento nejméně přesný měřicí režim byl přesnější než ostatní dva měřicí přístroje.

Co se týče rozdílu naměřených hodnot při měření proudem 10 A a měření proudem 30 A je patrné, že měření proudem 30 A je o něco přesnější, u malých hodnot rozdíl v chybě měření cca 7 %, u větších hodnot rozdíl u chyb měření asi 2 %, ovšem za cenu většího zahřátí přístroje průchodem většího proudu. Hodnoty při tomto měření se nejvíce blížily hodnotám nastaveným kalibrátorem.

Na Obr. 5-16 je vidět detail displeje přístroje ZERO LINE 60 s naměřenou hodnotou impedance 1,074 Ω .



Obr. 5-16 Detail displeje přístroje ZERO LINE 60

5.3 Vyhodnocení měření

Hodnoty impedance vypínací smyčky, které se nacházejí v běžné domovní elektroinstalaci, se pohybují řádově v jednotkách Ohmů. Toto tvrzení bylo měřením

v elektroinstalaci vybraného objektu potvrzeno. Hodnoty, které byly naměřeny, jsou v rozsahu 1 až 2 Ohmů, po navýšení bezpečnostním koeficientem do 3 Ohmů, což je v souladu s normou ČSN.

Impedance vypínací smyčky se se zvyšující se délkou vedení zvětšuje. To ovšem nebylo tímto měřením zcela dokázáno, protože vzdálenosti vedení, u kterých bylo měření prováděno, byly řádově v jednotkách, maximálně desítkách metrů. U takto malých délek vedení se vzrůstající odpor vedení s délkou nedá výrazněji pozorovat. Ovšem u zásuvky X 7.0, která se nachází ve sklepě, a je tedy od podružného rozvaděče vzdálena asi 2 metry, byla naměřena hodnota impedance cca o 15 % menší než u zásuvky X 1.1, která se nachází v 1. patře objektu, a je tedy vzdálena od podružného rozvaděče nejdále, což tvrzení o zvyšující se impedanci s délkou vedení potvrzuje.

Co se týče porovnání měření jednotlivými přístroji u běžné elektroinstalace bylo zřejmé, že pro měření impedance v tomto objektu je možné použít oba přístroje, rozdíl v přesnosti měření nebyl nějak výrazný. Pro hodnoty nacházející se v této elektroinstalaci nejsou chyby měření nějak podstatné, velikost impedance je tak velká, že připočtení chyby měření na ni nemá výraznější vliv. Naměřené hodnoty oběma přístroji jsou srovnatelné, pohybují se kolem hodnoty 1,5 Ω .

Celkové porovnání všech čtyř použitých měřicích přístrojů není tak snadné. Z hlediska praktického používání přístrojů v terénu, tj. mimo laboratoř, je nejideálnější přístroj ZEROTESTpro, protože je z použitých přístrojů nejmenší, nejkompaktnější, a má relativně vysokou přesnost měření. Nejvyšší přesnost měření má podle provedeného měření ZEROLINE 60, kde naměřené hodnoty nejvíce odpovídaly hodnotám skutečným, resp. nastaveným na kalibrátoru, a to i po započtení chyb měření. Co se týče zobrazování naměřených hodnot, nejlepší volbou by byl přístroj EurotestXC MI 3152, mající velký dotykový displej, který je velmi dobře čitelný.

6 ZÁVĚR

Při zpracovávání bakalářské práce jsem se seznámil s teoretickou a praktickou problematikou revizní činnosti. Nastudoval jsem normy týkající se revizní činnosti, provedl jsem rozdělení elektrických zařízení a vypsál jsem základní pojmy související s problematikou. Poté jsem se zaměřil přímo na téma impedance vypínací smyčky, její měření a vyhodnocování měření. Nakonec jsem provedl praktické měření impedance vypínací smyčky s následným vyhodnocením dosažených výsledků, přičemž jsem vycházel ze získaných teoretických poznatků.

Revizní činnost je velice důležitá z hlediska bezpečnosti elektrických zařízení a jejich obsluhy. Jedním z měření, které se při revizích provádí, je měření impedance vypínací smyčky, což je vlastně odpor, který klade smyčka protékajícímu proudu při poruše.

Princip měření impedance vypínací smyčky je u všech měřicích přístrojů stejný. Přístroj simuluje poruchu izolace živých a neživých částí obvodu, což vyvolá průchod poruchového proudu, z čehož se poté vyhodnotí impedance vypínací smyčky. Měření však ovlivňuje celá řada rušivých vlivů, například rušení v síti, nestabilita napětí, nebo přesnost měřicího přístroje. Čím je měřená impedance menší, tím přesnější musí být měření.

Pro vyhotovení měření jsem používal měřicí přístroje EASYTEST MA 2064, ZEROTESTpro, EurotestXC MI 3152 a ZEROLINE 60. Měření jsem provedl v běžné domovní elektroinstalaci a poté v laboratoři firmy Illko, s.r.o.

Z hlediska měření v běžné elektroinstalaci jsem naměřil hodnoty impedance v rozsahu 1 – 2 Ohmů, což je v souladu s normou ČSN. Z toho jsem usoudil, že měřená elektroinstalace je z hlediska bezpečnosti v pořádku. Přesnost měřicích přístrojů v tomto případě nehrála větší roli, protože naměřené hodnoty nejsou v podstatě chybou měřicích přístrojů ovlivněny. Pro toto měření mohl být použit jakýkoliv z dostupných měřicích přístrojů.

Co se týče měření v laboratoři firmy Illko, s.r.o., probíhalo na kalibrátoru, na kterém se nastavovala hodnota požadované impedance, která se následně měřila jednotlivými měřicími přístroji. V tomto případě jsem došel k závěru, že nejpresnější měřicí přístroj z mnou používaných je ZEROLINE 60, který měřil nejpresněji i velmi malé hodnoty impedance vypínací smyčky.

Literatura

- [1] LANC, R. *Zpracujte revizi zadaného elektrického zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 72 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. František Veselka, CSc..
- [2] ČSN 33 1500. *Revize elektrických zařízení*. [online]. [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [3] ČSN 33 2000-6 ED. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 6: Revize*. [online]. [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [4] VESELKA, František; HUZLÍK, Rostislav. *Inspekční a revizní činnost*. Vyd.1. Brno : CERM, 2007. 122 s. ISBN 978-80-7204-568-6.
- [5] KŘÍŽ, Michal. *Praktické pomůcky a tabulky pro elektrotechniky*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: IN-EL, 2013, s. 31. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-86230-92-4.
- [6] KOUPÝ, Leoš. Impedance poruchové smyčky - 1. díl. *Elektro: Odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC Public, 2015, roč. 2015, č. 5, s. 44-45 [cit. 2018-11-15]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/cislo-05-rocnik-2015--1062>
- [7] KOUPÝ, Leoš. Impedance poruchové smyčky - 1. díl [online]. 1. prosinec 2017 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/impedance-poruchove-smycky-1-dil>
- [8] KOUPÝ, Leoš. Praktické poznatky z měření impedance poruchové smyčky a izolačního odporu v NN elektrických instalacích [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/46602596-Prakticke-poznatky-z-mereni-impedance-poruchove-smycky-a-izolacniho-odporu-v-nn-elektrickych-instalacich.html>
- [9] KOUPÝ, Leoš. Impedance poruchové smyčky - 3. díl. *Elektro: Odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC Public, 2015, roč. 2015, č. 7, s. 47-50 [cit. 2018-11-28]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/cislo-05-rocnik-2015--1062>
- [10] KOUPÝ, Leoš. Impedance poruchové smyčky - 3. díl [online]. 29. prosinec 2017 [cit. 2018-11-29]. Dostupné z:

<https://www.elektroprumysl.cz/merici-technika/impedance-poruchove-smycky-3-dil>

- [11] KOUPÝ, Leoš. Impedance poruchové smyčky - 2. díl. *Elektro: Odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC Public, 2015, roč. 2015, č. 6, s. 51-52 [cit. 2018-12-12]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/cislo-06-rocnik-2015--1063>
- [12] *Elektrotechnický magazín - ETM: odborný časopis pro silnoproudou elektrotechniku a podnikatele*. Brno: P. Hála - Elektromanagement, 1991-, roč. 2011, č. 11-12, s. 34 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/etm/starsi/98-rocnik-2011/787-etm-11-12-2011>
- [13] ILLKO, s.r.o. *Návod k používání přístroje: EASYTEST*. Blansko, 1997, 29 s.
- [14] ILLKO, s.r.o. *Prospekt k přístroji: EurotestXC MI 3152*. Blansko, 2018, 2 s. Dostupné z: <https://www.illko.cz/images/dokumenty/mi-3152-eurotestxc-prospekt.pdf>
- [15] ILLKO, s.r.o. *Návod k používání přístroje: ZERO LINE 60*. Blansko, 2009, 21 s. Dostupné z: <https://www.illko.cz/images/dokumenty/navod-zero-line-60.pdf>

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

DC	...	Stejnoseměrný proud
AC	...	Střídavý proud
ČSN	...	Český systém norem
EN	...	Normy harmonizované podle evropských norem
TN	...	Typ sítě s uzemněným zdrojem a s neživými částmi chráněnými spojením s uzlem zdroje
TT	...	Typ sítě s uzemněným zdrojem a s neživými částmi chráněnými uzemněním
L	...	Fázový vodič
N	...	Nulový vodič
PE	...	Ochranný vodič
PEN	...	Ochranný vodič spojený s nulovým vodičem
mn	...	Malé napětí
nn	...	Nízké napětí
vn	...	Vysoké napětí
vvn	...	Velmi vysoké napětí
zvn	...	Zvláště vysoké napětí
uvn	...	Ultra vysoké napětí
s.r.o.	...	Společnost s ručením omezeným
CYKY	...	Označení silových kabelů s měděným jádrem a izolací z polyvinylchloridu
OSB	...	Druh dřevěné desky vytvořené lisováním velkých dřevních štěpků nebo hoblin
LED	...	Elektroluminiscenční dioda emitující světlo
HDV	...	Hlavní domovní vedení

Symboly:

I_a – proud zajišťující samočinné odpojení od zdroje	[A]
U – jmenovité střídavé napětí sítě proti zemi	[V]
Z_s – hodnota impedance smyčky L – PE	[Ω]

$Z_{Szměř}$ - naměřená hodnota impedance smyčky L – PE	[Ω]
$\Delta Z_{Szměř}$ - absolutní hodnota měření	[Ω]
Z – impedance vypínací smyčky	[Ω]
U_0 – napětí zdroje naprázdno	[V]
U_1 – napětí nacházející se v obvodu při měření se zátěží	[V]
I – proud procházející smyčkou	[A]
MH – hodnota měřená přístrojem	[-]
D – digit	[-]
MR – hodnota z měřicího rozsahu	[-]
I_P – vybavovací proud jistícího prvku	[A]
I_N – jmenovitý vypínací proud jističe	[A]
Z_T – impedance sekundárního vinutí napájecího transformátor	[Ω]
Z_L – impedance fázového vodiče od zdroje k místu poruchy	[Ω]
R_{PE} – odpor PE/PEN vodiče od místa poruchy ke zdroji	[Ω]
$ \rho $ - absolutní hodnota chyby měření	[-]
R_{LINE} - odpor smyčky, skládající se z vodiče L a N	[Ω]
R_{N-PE} - odpor smyčky, skládající se z vodiče N a PE	[Ω]
R_N - odpor nulového vodiče	[Ω]
$R_{VýSL}$ – výsledný odpor, neboli impedance poruchové smyčky	[Ω]
R_L - odpor fázového vodiče	[Ω]
U_N – napětí na odporu R_N	[V]
$I_{měř}$ – měřicí proud procházející smyčkou	[A]
Z_{chyba} – velikost impedance se zohledněním chyby měření	[Ω]
$Z_{1,5}$ – velikost impedance vynásobená bezpečnostním koeficientem	[Ω]
I_k – zkratový proud obvodu	[A]

Seznam příloh

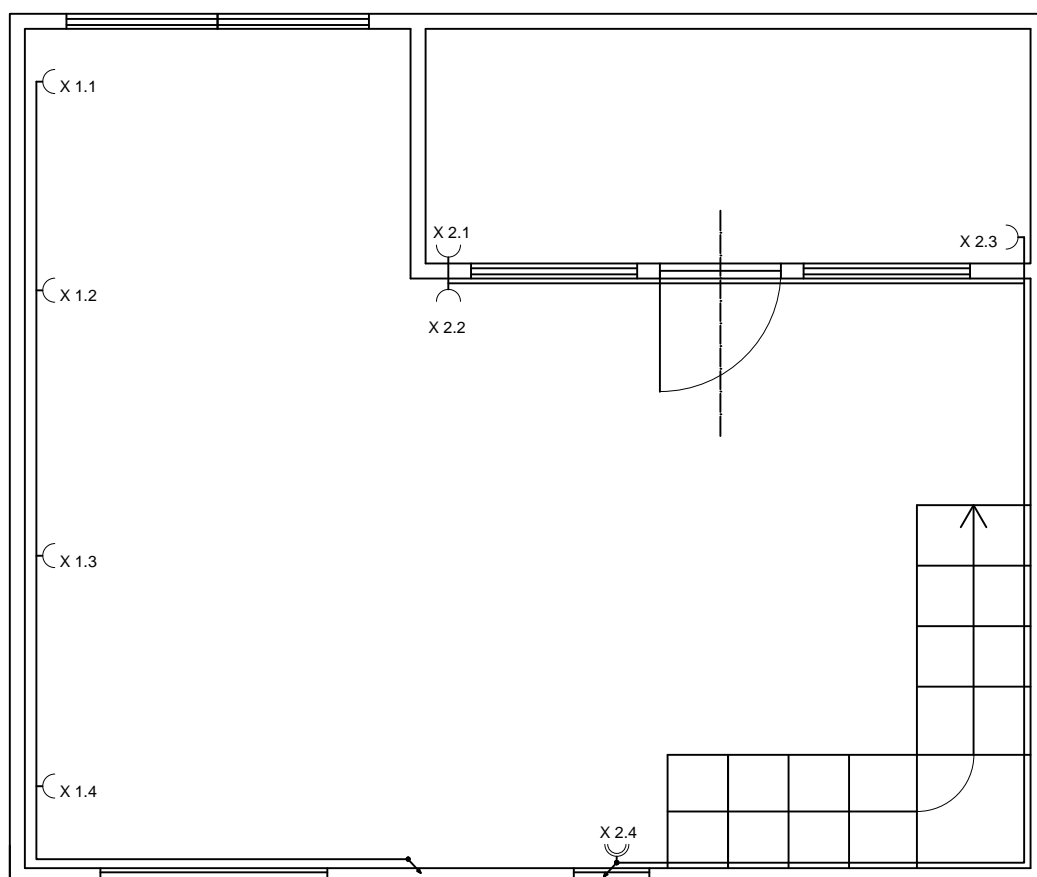
Příloha 1. Výkres – Podkroví

Příloha 2. Výkres – Přízemí

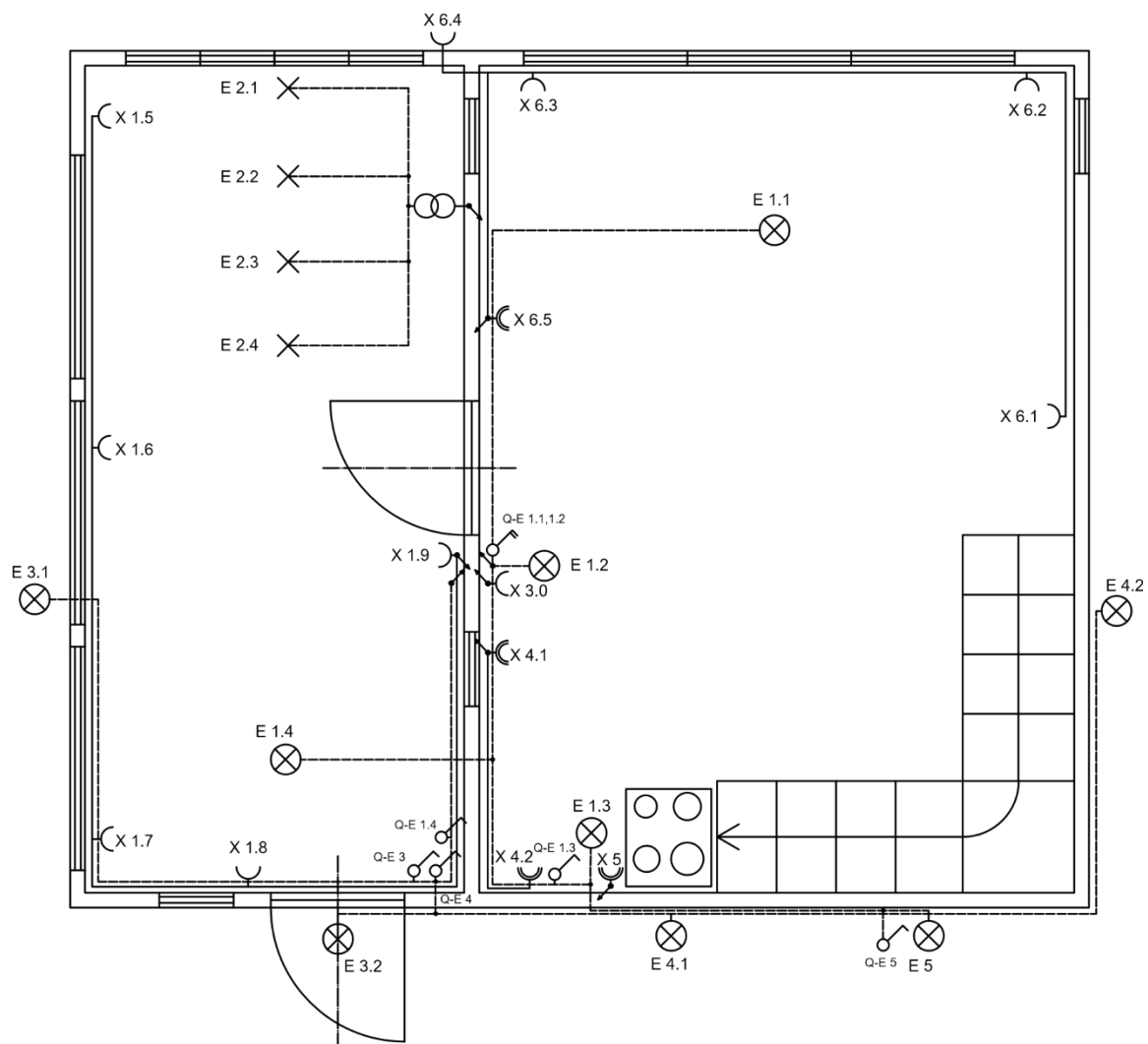
Příloha 3. Výkres – Sklep

Příloha 4. Výkres – Podružný rozvaděč

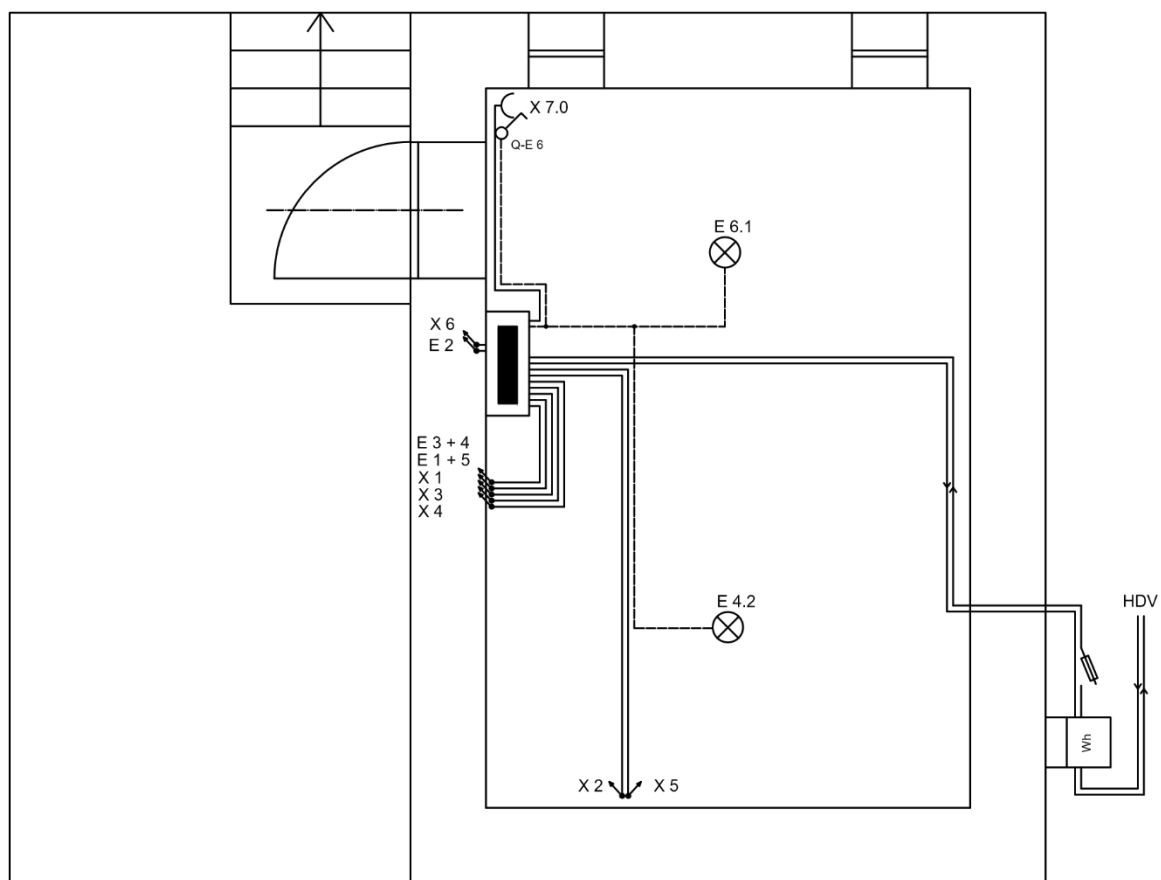
Příloha 5. Souhlas majitele objektu



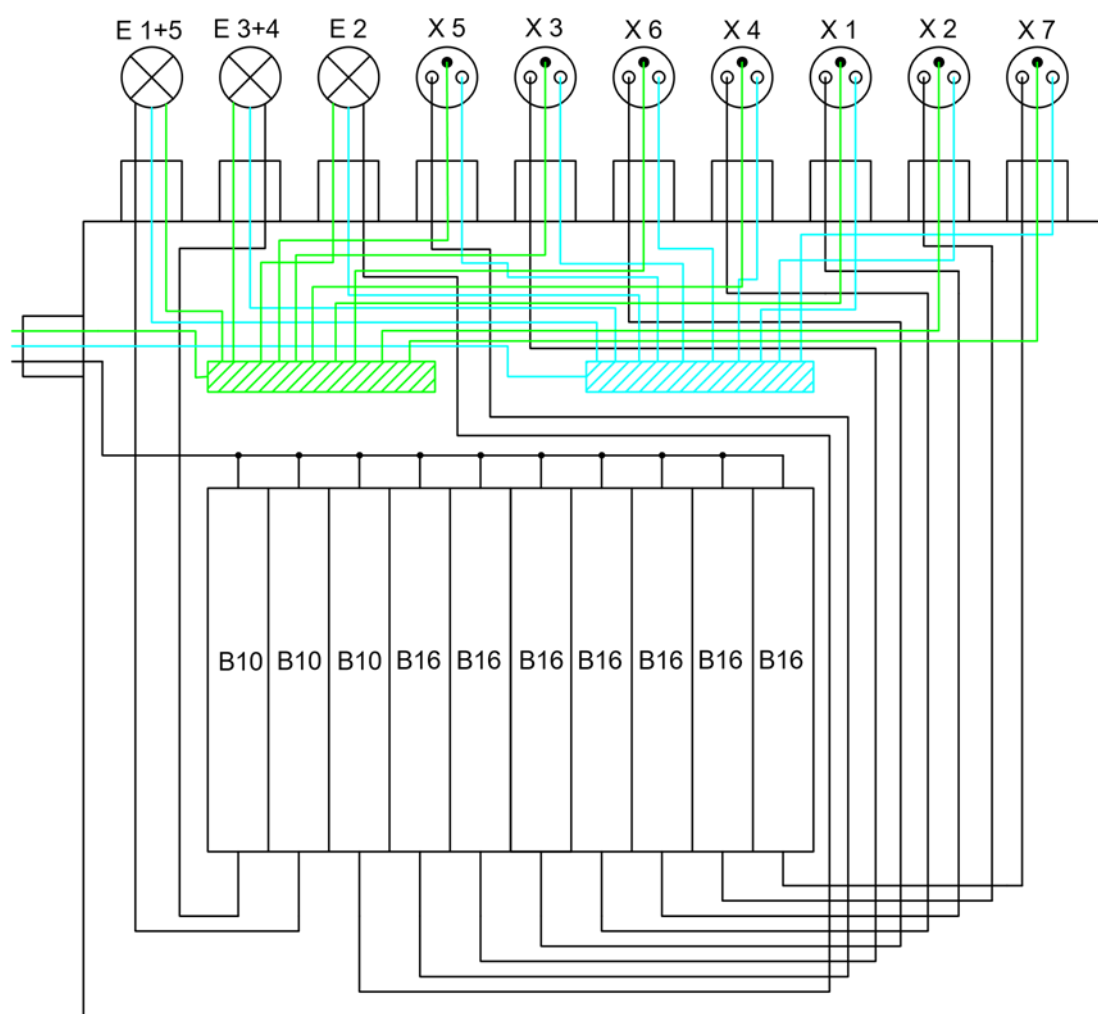
Část objektu:	Podkroví
Autor:	Miroslav Švéda
Měřítko:	1 : 50
Datum vytvoření:	23. 4. 2019



Část objektu:	Přízemí
Autor:	Miroslav Švéda
Měřítko:	1 : 50
Datum vytvoření:	23. 4. 2019



Část objektu:	Sklep
Autor:	Miroslav Švéda
Měřítko:	1 : 50
Datum vytvoření:	23. 4. 2019



Podružný rozvaděč	
Autor:	Miroslav Švéda
Datum vytvoření:	23. 4. 2019

Souhlas majitele objektu

Já, JUDr. Martin Švéda, bytem V Roklích 69, 251 01 Říčany – Kuří, jako majitel rekreačního objektu č. ev. 74 v katastrálním území Vranov nad Dyjí, uděluji souhlas s tím, aby můj rekreační objekt byl použit pro provedení měření v rámci praktické části bakalářské práce Miroslava Švédy, studenta 3. ročníku FEKT VUT v Brně.

V Kuří, dne 8. 4. 2019

Podpis:.....